



**Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie**

**Département de
Biotechnologie**

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Biotechnologies

Spécialité : Biotechnologie microbienne

Présenté par

Mlle BELAYALI SOUMAYA

Intitulé :

Etude des champignons endomycorhiziens arbusculaires à la variété sigoise d'olivier *Olea europea L.* en fonction des conditions édapho-climatiques en Algérie.

Le 18/09/2022

Devant le jury composé de :

Président :	NEGGAZ SAMIR	MCA	Univ. Oran 1 Ahmed Ben Bella
Examineur :	SIDHOUM WARDA	MCA	Univ. De Mâstaganem
Examineur :			
Encadreur :	SAAD DAHBIA	MAA	Univ. Oran 1 Ahmed Ben Bella
Co-encadreur :			
Invité :			

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ

Remerciements

Tous mes remerciements vont d'abord à notre DIEU tout puissant, qui ma données la volonté, le courage et la patience durant ces longues années d'études.

Je tiens remercie sincèrement mon encadreur Mme SAAD DAHBIA qui à accepter de diriger ce travail, je la remercie pour toutes ses aides et tous ces conseils et surtout son savoir.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

A Mr le professeur NEGGAZ SAMIR qui m'a fait l'honneur de présider ce jury, qu'il reçoit ici le témoignage de mes sincères remerciements .

A Dr SIDHOUM WARDA qui m'honore en acceptant d'examiner ce manuscrit, mais aussi pour son aide qui nous a été vraiment précieuse, qu'il trouve ici l'expression de ma sincère gratitude .

Mes remerciements s'adressent également à Mme DIB BELLAHOUEL SOULEF pour leur aide, leur soutien et leur encouragement.

Je remercie ma cher copine BEKHEDDA DJAMILA qui m'a encouragé, soutenu dans toutes mes moments difficiles, merci beaucoup d'être dans ma vie .

En fin, je tiens remercie toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

A tous ceux qui me sont les plus chers au monde mes parents qui m'ont tout donné :

Papa, tu as été la personne la première qui m'a soutenu et encouragé à embrasser ces longues études. Que le tout puissant t'accorde longue vie.

Mama, je vous remercie énormément d'être toujours à ma côté, de votre soutien sempiternel. Si j'ai atteint ce stade là c'est grâce à vous ma mère bien aimé.

A mon adorable frère Billel et mes chers sœur Hadjira et Djamila Puisse dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.

A tous ceux qui ont, de près ou de loin, participé à la réalisation de ce travail.

Liste des abréviations

Liste des abréviations

% : pour cent.

AC : cellules axillaires

Arb : Arbuscule.

C° : degré celsius.

CaCo3 : calcium active.

CC : Cylindre central.

Cm: centimètre.

CMA: champignons mycorhiziens arbusculaires.

EM: ectomycorhize.

EN : endophyte.

F%: fréquence de la colonisation mycorhiziens.

Ha: hectare.

HY : hyphe

INVAM : international culture collection of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi.

KOH: hydroxyde de potassium

M% : intensité de la colonisation du cortex racinaire.

Mμ: micrometer.

MA: mycorhizes arbuscules

Min : minute.

Mm: millimeter.

MNP: most-probable-number.

NPK : azote, phosphor et potassium.

PEM: pouvoir endomycorhizogènes

PF : poids frais.

PS : poids sec.

PT : poids turgescent.

Liste des abréviations

PVLG: polyvinyl-lactoglycérol.

Rpm : tours par minute.

TREF : teneur relative en eau des feuilles.

Trs : tours.

V : volume.

VSC : Vésicule.

Liste des figures

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	Illustration des structures de colonisation de la racine d'une plante lors de la symbiose ectomycorhizienne (A) et endomycorhizienne à arbuscule (B) (Anonyme1	4
2	Schéma représentant les structures inter et intracellulaire formées par les CMA.	6
3	Différentes formes de colonisation des racines : (a et b) forme Arum ;(c-f) forme intermédiaire ; (g) forme Arum et Paris ; (h) forme Paris	7
4	Différentes structures d'arbuscules de <i>Glomus mossea</i> observées dans les racines d' <i>Allium porrum</i> : (a) Hyphe intercellulaire (pointes de flèche) et arbuscules (flèches); (b) Stade précoce de la formation des arbuscules; (c) Arbuscule entièrement développé; (d) enroulements hyphaliques	7
5	Spores de différentes espèces de champignons mycorhiziens à Arbuscules selon Trouvelot et al. (2015).	9
6	Principaux processus au cours du cycle de vie des AMF	10
7	Taxonomie des CMA proposé par Oehl <i>et al.</i> (2011), Krüger et al. (2012) et Redecker <i>et al.</i> , (2013).	11
8	Carte pour montrer l'expansion possible de la culture de tomates dans le monde entier.	17
9	Graphe des principales productions maraichères en % en Algérie (Sahali <i>et al.</i> 2021).	18
10	Les différentes parties de la tomate.	19
11	le cycle de vie du plant de la tomate.	21
12	la localisation de la station d'étude sur la carte géographique d'Algérie.	23
13	Localisation géographique de la station d'étude sur la carte d'Algérie.	24
14	Localisation géographique de la station d'étude sur la carte d'Algérie.	25
15	Graphe représente la variation climatique moyennes annuelle de la wilaya d'Oran des dix dernières années.	26
16	Graphe représente la variation climatique moyennes annuelle de la wilaya de Mascara des dix dernières années.	27
17	Graphe représente la variation climatique moyennes annuelle de la wilaya de Bechar des dix dernières années	29
18	Echantillonnage du sol rhizosphérique d'olivier de la variété Sigoise.	30
19	Technique de dilution utilisée dans la réalisation du test du nombre le plus probable (PIM.)	32
20	Diagramme circulaire présente la densité sporale des trois stations d'étude.	40
21	les dilutions de pouvoir endomycorhizogène des trois stations d'études.	46
22	Histogramme de l'estimation des paramètres d'infection mycorhizienne de l'olivier. F : fréquence de mycorhization : M : intensité de	47

Liste des figures

	mycorhization du cortex.	
23	Hyphes d'un champignons endomycorhiziens au grossissement $\times 400$.	48
24	endomycorhize montrant des arbuscules au grossissement $\times 400$.	48
25	Vésicules des champignons endomycorhiziens sous microscope au grossissement $\times 100$.	49
26	des endophytes observé sous microscope au grossissement $\times 400$.	49
27	histogramme représente la chlorophylle totale.	50
28	histogramme représente la chlorophylle a	51
29	histogramme représente la chlorophylle b	51
30	histogramme représente la teneur en caroténoïdes	52
31	histogramme représentant la teneur relative en eau	54
35	les différents morphotypes de glomyromycota présentent dans le sol de Sig	42
36	les différents morphotypes de glomyromycota présentent dans le sol de Lac Télamin	43
37	les différents morphotypes de glomyromycota présentent dans le sol de Bechar.	44

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Nombre de table	Titre	Page
01	Principales structures et fonctions des CMA	5
02	Amélioration de la nutrition des plantes grâce aux mycorhizes	11
03	la technique de dilution du sol.	32
04	Caractéristique granulométrique du sol des trois stations d'études.	38
05	Caractéristique chimiques du sol des trois stations d'études.	39

Les titres	Numero
Remerciements	
Dédicace	
Listes des figures	
Listes des tableaux	
Listes des abréviations	
Sommaire	
Introduction générale.....	1-2
Partie bibliographie	3
1. Symbiose mycorhizienne.....	3
1.1. Définition des mycorhizes.....	3
1.2. Principaux types de mycorhizes.....	3
1.2.1. Les ectomycorhizes.....	4
1.2.2. Les endomycorhizes.....	4
1.3. La symbiose endomycorhizienne à arbuscules	4
1.3.1. Caractéristiques des champignons mycorhiziens à arbuscule (CMA).....	
1.3.2. Cycle de développement des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA).....	9
1.3.2.1. Phase asymbiotique: germination de la spore et ramification de l'hyphe germinative.....	9
1.3.2.2. Phase pré-symbiotique: le dialogue entre la plante et le champignon mycorhizogène.....	9
1.3.2.3. Phase symbiotique: colonisation des racines de l'hôte	9
1.4. Classification des champignons mycorhiziens arbusculaires	10
1.5. Importance des champignons MA.....	11
1.5.1. Nutrition minérale des plantes	12
1.5.2. Alimentation hydrique des plantes par les CMA.....	13
1.5.3. Protection de la plante	14
1.5.4. Amélioration de la qualité du sol	14
1.5.5. Rôle écologique des mycorhizes dans les agro-écosystèmes.....	15
1.6. Influence de l'environnement sur les mycorhizes	15
1.6.1. Influence des facteurs climatiques	15
1.6.1.1. Influence de la température.....	15
1.6.1.2. Influence de la lumière	15
1.6.1.3. Influence des saisons	15
1.6.2. Influence des facteurs édaphiques	15
1.6.2.1. Influence hydrique.....	15
1.6.2.3. Influence de la matière organique	16
1.6.3. Influence des facteurs anthropiques	16
1.6.3.1. La fertilisation.....	16
1.6.3.2. L'application des pesticides.....	16
2. Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>).....	17
2.1. Généralité sur la tomate	17
2.2. Classification de la tomate	17
2.3. Description botanique de la tomate.....	18
2.4. Culture de la tomate.....	19
2.4.1. Germination et la croissance	19
2.4.2. Floraison et la pollinisation	20
2.4.3. Nouaison des fleurs et la fructification	20
2.4.4. Maturation du fruit	20

2.5. Contraintes liées à la production de la tomate	21
2.5.1. Contraintes abiotiques.....	21
2.5.2. Contraintes biotiques.....	21
2.6. Production et importance économique de la tomate	21
2.6.1. Production mondiale	21
2.6.2. Production de la tomate en Algérie	22
Partie matériel et méthodes	23
1. Situation géographique des zones d'études.....	23
1.1. Localisation des stations d'étude.....	23
1.1.1. Station de Sig (35'35"33°N, 0'12"45°E; 47m d'altitude).....	23
1.1.2. Station du Lac Télamin (35'44"12° N, 0'22"58° O; 82 m d'altitude)....	23
1.1.3. Station Debdaba: (31'37"4° N, 2'12"18° O; 782m d'altitude)	24
1.2. Caractéristiques climatiques des zones d'études	25
1.2.1. Etude climatique de la wilaya d'Oran.....	25
1.2.2. Etude climatique de la wilaya de Mascara (Sig).....	26
1.2.3. Etude climatique de la wilaya de Béchar.....	27
2. Matériels et Méthodologie de travail	29
2.1. Procédure d'échantillonnage de sol.....	29
2.2. Analyses physico-chimique du sol.....	30
2.3. Evaluation de la densité et identification des spores des CMA.....	30
2.3.1. Technique de tamisage humide.....	30
2.3.2. Détermination de la densité sporale.....	31
2.3.3. Identification des genres de champignons endomycorhiziens.....	31
2.4. Etude du potentiel infectieux endomycorhizogènes (PIM)	31
2.4.1. Désinfection des graines et mises en germination.....	31
2.4.2. Préparation de substrat de culture.....	32
2.4.3. Préparation des dilutions de sol	32
2.4.4 Repiquage et pré inoculation des plantules par les complexes mycorhizogènes	33
2.4.5. Coloration des racines et estimation de la PIM	33
2.4.5.1 Méthode de coloration de Phillips et Hayman (1970)....	33
2.4.5.2. Estimation de la PIM et calcul du NPP	33
2.4.6. Effet des CMA indigènes sur la croissance des plants de tomate et estimation de la l'infection mycorhizienne.....	34
2.4.6.1 Mise en évidence et évaluation de la colonisation mycorhizienne.....	35
2.4.6.2. Fréquence de la mycorhization (F%)	35
2.5. Mesure des paramètres physiologiques.....	35
2.5.1 Teneur relative en eau (TREF)	35
2.5.2. Dosage de la chlorophylle.....	36
Partie résultats et discussions	37
1. Analyses physico-chimiques des sols.....	37
1.1 Analyse physique (Granulométrie).....	37
1.2 Analyse chimique des sols.....	38
2. La densité et la diversité des CMA dans les sols rhizosphériques à l'olivier	39
2.1 La densité des spores des champignons endomycorhiziens	39
2.2 Diversité des CMA dans le sol rhizosphérique de l'olivier	40
2.2.1. Les spores isolées à partir du sol rhizosphérique de la station de Sig	42

2.2.2. Les spores isolées à partir de sol rhizosphérique de la station de Lac Télamin	43
2.2.3. Les spores isolées à partir de sol rhizosphérique d'olivier de la station de Bechar	44
3. Potentiel infectieux des endomycorhizes du sol (PIM)	45
4. Estimation et mise en évidence de l'infection endomycorhizienne chez la tomate.....	46
4.1. Mise en évidence des structures endomycorhiziennes.....	47
4.1.1. Les hyphes	47
4.2.2. Les arbuscules.....	48
4.2.3. Les vésicules.....	48
4.2.4. Les endophytes.....	49
5. Effet des CMA sur les paramètres physiologiques chez les plants de tomate.....	49
5.1. Dosage de la chlorophylle.....	50
5.1.1 Dosage de la chlorophylle totale.....	50
5.1.2. La teneur de la chlorophylle a.....	50
5.1.3. La teneur de la chlorophylle b.....	51
5.1.4. La teneur des caroténoïdes.....	53
5.2. La teneur relative en eau (TREF)	53
Conclusion	55
Références	
Annexes	
Résumé	

Introduction générale

Introduction générale

Il est bien établi que le fonctionnement, la stabilité et la productivité des écosystèmes terrestres dépendent en grande partie de la richesse en espèces du cortège floristique (Châtaigner et Duponnois, 2017). Cependant, l'installation et le développement de ces espèces au sein de l'écosystème dépendent des interactions, qui se produisent entre celles-ci et de leur concurrence spatio-temporelle vis-à-vis des ressources limitées du sol (Tilman et Downing, 1994). Par cela la plupart des arbres contractent des associations symbiotiques avec un certain nombre de champignons du sol. Ces associations à bénéfices réciproques, permettent à l'arbre de résister aux climats arides et semi-aride et au manque de nutriments provenant du sol, ainsi qu'aux attaques parasitaires (Gebelli *et al.*, 1986; Struillu, 1991; Khirani *et al.*, 2021). Cette association engendre des organes mixtes mycélium-racines, appelés mycorhizes (Mousain *et al.* 1996; Dalpé, 2006; Crossay *et al.*, 2018)

Les champignons mycorhizines sont considérés comme des composants clés dans les mécanismes biologiques assurant la capacité de résilience d'un écosystème et doivent être considérés au même titre que pour le choix de la plante dans les stratégies de réhabilitations et désertification des sols (Duponnois *et al.*, 2010, Seyni Bodo *et al.*, 2019).

Les mycorhizes arbusculaires jouent un rôle écologique dans lequel favorise le prélèvement et le transport vers la plante des éléments minéraux nutritifs très peu mobiles dans le sol comme le phosphore (Duponnois *et al.*, 2005; Lambers *et al.*, 2008; Benjelloun *et al.*, 2014). Cependant, l'exploration du volume du sol par le mycélium extra-matriciel et sa capacité à mobiliser des éléments nutritifs à partir des minéraux primaires favorisent la nutrition phosphatée des plantes (Manjunath *et al.*, 1989; Landeweert *et al.*, 2001; Diouf *et al.*, 2013).

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est une espèce de plante herbacée de la famille des solanacées largement cultivée pour son fruit (Chanforan, 2010). Elle représente l'une des plus importantes cultures maraichères et elle est très largement réponde de par le monde. À l'échelle mondiale, la production annuelle de tomates fraîches s'élève à environ 160 millions de tonnes (FAO, 2016). En Algérie, par son importance, elle est classée en deuxième après la pomme de terre.

Comme la plupart des espèces végétales cultivées, la tomate peut former des symbioses avec les champignons mycorhiziens arbusculaire (Copetta *et al.*, 2011). Bien que les champignons mycorhiziens arbusculaire soient présents dans le sol rhizosphérique de la tomate, les pratiques culturales ainsi que les stress abiotiques, tels que: diminution des précipitations, augmentation des températures sécheresse dû aux changements climatiques, et biotiques causés par les ravageurs voient le plus souvent leurs populations et leurs diversités diminuées (Tedersoo *et al.*, 2020). Dans ces conditions, le plus souvent l'addition aux sols de spores ou de propagules de ces champignons (inoculum) se traduit par un départ plus rapide du développement de la plante et augmentation des rendements.

Introduction Générale

Toutefois, la tomate est un partenaire symbiotique potentiel des champignons endomycoriziens qui lui permettent de mieux résister à différents stress.

Notre travail porte sur l'étude de la diversité de champignons mycorhiziens arbusculaires collectés du sol des vergers d'olivier localisés dans différentes régions en Algérie. Dont le but est de caractériser la qualité biologique en champignons endomycorhiziens dans diverses conditions climatiques (semi-arides, aride et humide) et édaphiques. De par la suite, suivre le comportement des champignons endomycorhizogènes vis à vis des conditions climatiques et édaphiques différentes, nous permettra de supputer le comportement de ces champignons par rapport à un éventuel changement climatiques. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre présent travail qui s'articule autour de trois chapitres avec une introduction justifiant notre intérêt sur l'association symbiotique par la suite :

Le premier chapitre comprend une synthèse bibliographie sur des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) et leurs intérêt nutritionnelle mutualisme par rapport au plante hôte et des généralités sur les cultures maraichères notamment la tomate.

Le deuxième chapitre présente la partie expérimentale qui comprend:

- Situation géographique des zones d'études.
- Caractéristique climatiques des zones d'études.
- Procédure d'échantillonnage.
- Analyses physico-chimiques des sols.
- Extraction des racines et mise en évidence la colonisation mycorhiziens.
- Extraction et identification des spores des CMA à partir de sol rhizosphérique de l'olivier.
- Etude de pouvoir endomycorhizogène.
- Effet des CMA indigène du sol rhizosphérique sur la croissance de la tomate (dosage de la chlorophylle et la teneur relative en eau).

Le troisième chapitre regroupe les résultats obtenus et leurs discussions.

Enfin, nous avons clôturé ce travail avec une conclusion générale avec une synthèse des principaux résultats obtenus.

Partie Bibliographie

1. Symbiose mycorhizienne

1.1. Définition des mycorhizes

Les mycorhizes sont des unions mutuelles résultant de l'association entre les racines des végétaux et certains champignons du sol (Boostani et al., 2014; Tancredo et al., 2016). Ces champignons se développent aussi bien à l'intérieur des racines qu'autour d'elles en formant un réseau de filaments qui amplifie considérablement la surface du contact entre les racines et le sol (Van der Heijden et al., 2015).

La symbiose mutuelle entre les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) et les plantes est avantageuse pour les deux organismes, permettant aux symbiotes impliqués d'en retirer des bénéfices réciproques (Hodge et Storer, 2014). Les champignons mycorhiziens colonisant les racines des plantes, prolifèrent dans la matrice du sol et fournissent des minéraux à la plante en échange de source carbonée (Revillini et al., 2016).

En effet, Ce phénomène concerne plus de 90 % des espèces de plantes à travers le monde (Revillini et al., 2016). Par ailleurs, certaines espèces végétales ne peuvent croître normalement sans leur symbiote fongique dont elles sont fortement dépendantes et avec qui elles ont co-évolué à travers les différents temps géologiques (Janos, 1980; Van der Heijden et al., 2015), où il joue des rôles importants et potentiellement vitaux pour ces espèces végétales (Smith et Read 2008; Revillini et al., 2016).

1.2. Principaux types de mycorhizes

Trois principaux types de mycorhizes ont été décrites en se basant sur leur structure et leur fonction, à savoir les ectomycorhizes (EM), les endomycorhizes (AM) et les ecto-endomycorhizes (Van der Heijden et al., 2015).

Les champignons mycorhiziens vivent généralement dans le cortex des racines des plantes, autour des cellules épidermiques ou à la surface de la racine (Van der Heijden et al., 2015). Ils développent également à partir des racines des hyphes dans le sol, où ils fournissent les nutriments, en particulier les nitrates et les phosphates.

Les différents types de mycorhizes possèdent différentes capacités leur permettant d'accéder aux formes organiques et inorganiques des nutriments du sol (Lambers et al., 2008; Smith et Read, 2008). Bonfante et Genre (2010) ont signalé que les deux types les plus répandus, sont les Ectomycorhizes et les Endomycorhizes.

1.2.1. Les ectomycorhizes (figure 1A) le champignon ne pénètre pas à l'intérieur des cellules racinaires. Il se développe à l'extérieur des extrémités des racines formant un manchon d'hyphes qui le rend visible à l'œil nu tout en constituant entre les cellules corticales une interface symbiotique appelée réseau de Hartig (Bonfante et Genre, 2010). Ce type de mycorhize s'associe principalement avec les plantes qui colonisent les sols organiques (Veresoglou et al., 2012).

122 Les endomycorhizes (figure 1B), la symbiose n'est pas visible à l'œil nu (Read, 1991). Les champignons colonisent l'intérieur des cellules racinaires formant des arbuscules et vésicules. Ces deux structures jouent un rôle important dans les échanges de nutriments avec la plante (Bonfante et Genre, 2010). En revanche, les endomycorhizes colonisent les plantes qui poussent sur des sols minéraux, où les sources inorganiques d'azote et de phosphore sont répandues (Veresoglou et al., 2012).

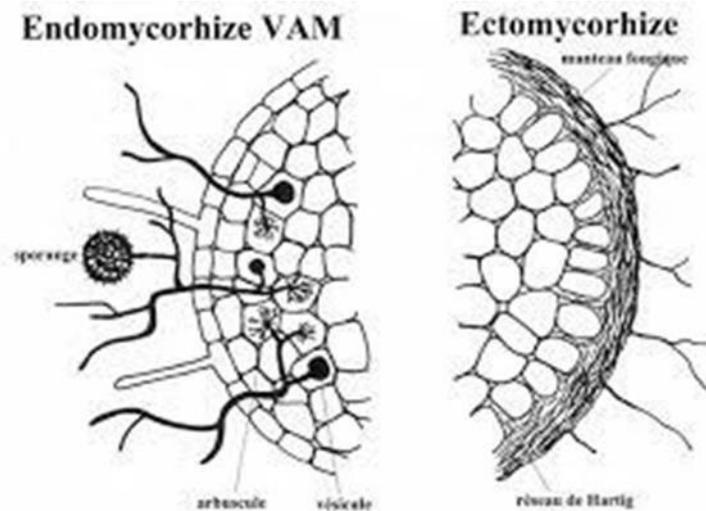


Figure 1: Illustration des structures de colonisation de la racine d'une plante lors de la symbiose ectomycorhizienne (A) et endomycorhizienne à arbuscule (B) (Anonyme1).

1.3. La symbiose endomycorhizienne à arbuscules

La symbiose endomycorhizienne à arbuscules (MA) est une association qui implique les différents genres appartenant au phylum gloméromycota et des plantes terrestres (Smith et Read, 2008; Lenoir *et al.*, 2016). Les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) sont des biotrophes obligatoires et omniprésents qui vivent en symbiose avec environ 90% des plantes vasculaires terrestres (Young, 2015; Hanlon *et al.*, 2016), nécessitant donc la présence d'un hôte pour compléter leur cycle vital (Ruissen, 2013; Andrea *et al.*, 2014).

Ce type d'association ne présente pas une forte spécificité d'hôte, un même champignon peut coloniser de nombreuses espèces végétales. Réciproquement, une plante peut être colonisée par plusieurs espèces de CMA (Alejandra *et al.*, 2016). En revanche, dans les sols pauvres en éléments nutritifs et dans des conditions de sécheresse, de nombreuses plantes doivent obligatoirement être associées aux champignons mycorhiziens à arbuscules pour survivre (Gemma *et al.*, 2002).

131. Caractéristiques des champignons mycorhiziens à arbuscule (CMA)

Les champignons mycorhiziens arbusculaires sont des organismes particuliers en raison de leur mode de vie et de leur génétique. En effet, le réseau d'hyphes des CMA est généralement coenocytique, comprenant des centaines de noyaux qui partagent le même cytoplasme (Theo Ruissen, 2013).

Partie Bibliographie

Les CMA sont constitués par les structures morphologiques suivantes (Tableau 1) (figure 2): les arbuscules, les vésicules, les cellules auxiliaires, les hyphes et les spores. Ces structures se forment à l'intérieur des racines des plantes (les hyphes et les spores peuvent également se former à l'extérieur des racines, dans la rhizosphère), et créer une surface de contact membranaire massive entre les cellules racinaires des plantes, les structures AMF et les ressources du sol (Smith et Read 2008; Hodge et Storer 2014; Souza, 2015)

Tableau1: Principales structures et fonctions des CMA (Souza, 2015).

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)	Etablir 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 du CMA
	3) Responsable de la dispersion et de l'établissement du CMA

a Structures qui ne se trouvent que dans la famille des Archaeosporaceae, Glomeraceae et Paraglomeraceae. b Structures caractéristiques de la famille des Diversisporaceae.

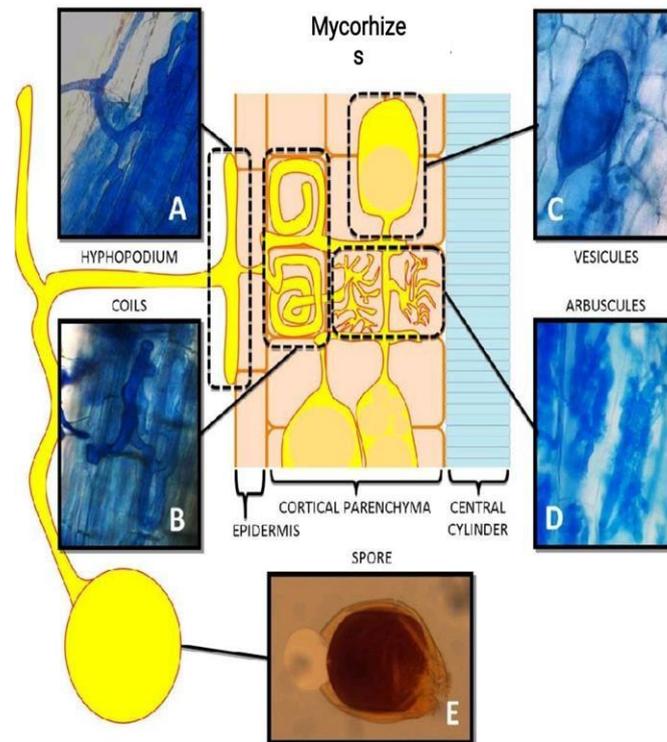


Figure 2: Schéma représentant les structures inter et intracellulaire formées par les CMA.

(A): le champignon pénètre à travers un hyphopodium. (B, C, D): des hyphes intracellulaires, des vésicules extracellulaires et des arbuscules intracellulaires au sein du parenchyme cortical. (E) : une spore de *Scutellospora sp.* Colorée avec le réactif de Melzer (Andrea et al., 2014).

A. Les hyphes (Hy)

Des hyphes se développent à l'intérieur et à l'extérieur de la racine. Les structures à l'intérieur de la racine sont très variables selon la symbiose considérée (Dickson, 2004). Néanmoins deux types de morphologies sont décrites dans la littérature, le type Arum et le type Paris, ainsi que l'existence d'une structures intermédiaires entre ces morphotypes (Brundrett, 2004 ; Dickson, 2004). Les mycorhizes de types Arum (AMF linéaire) sont mieux décrites et plus typiques, formant des d'hyphes intercellulaires entre les cellules corticales et des arbuscules intracellulaires dans les cellules corticales (Krishnamoorthy *et al.*, 2017), alors que les mycorhizes de type Paris (AMF enroulée), moins connues, mais abondantes, forment de larges enroulement et d'arbuscules intracellulaires dans le cortex racinaires et non dans les espaces intracellulaires (Figure 3) (Van Aarle *et al.*, 2005; Willis *et al.*, 2013; Krishnamoorthy *et al.*, 2017).

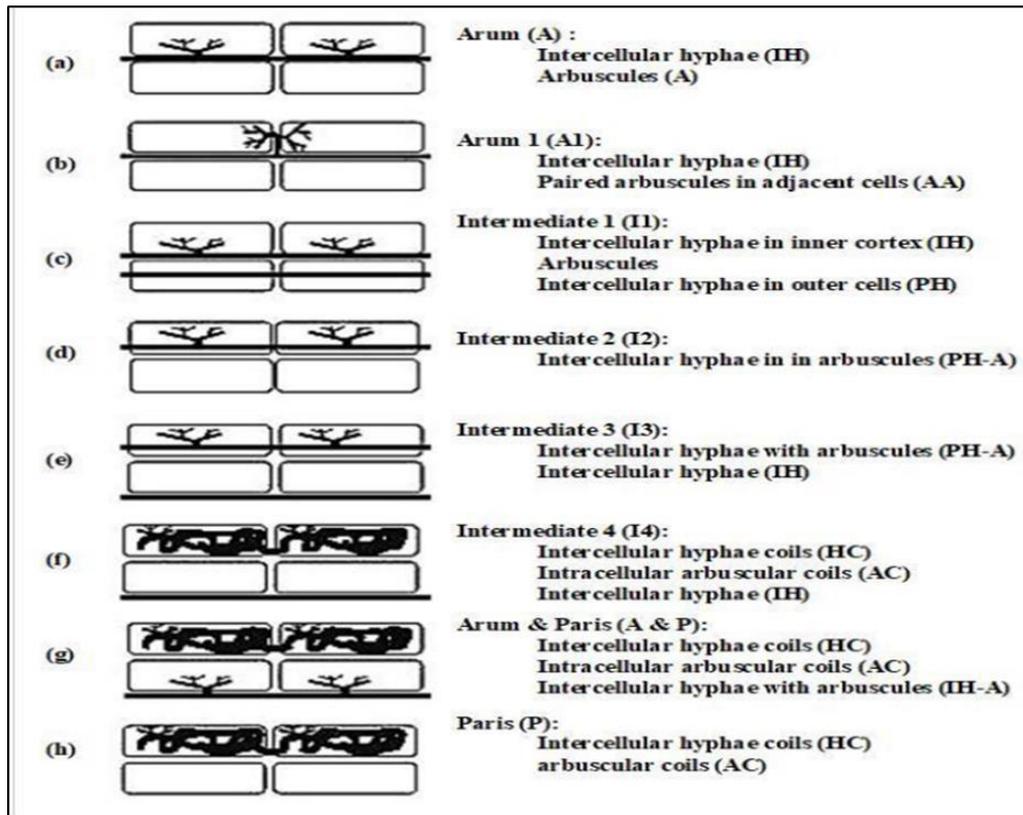


Figure 3: Différentes formes de colonisation des racines : (a et b) forme Arum ;(c-f) forme intermédiaire ; (g) forme Arum et Paris ; (h) forme Paris (Dickson, 2004).

B. Les arbuscules (A)

Les CMA sont caractérisés par la formation de structures intracellulaires très ramifiées ou enroulés dans le cortex racinaires (figure 4) (He et Nara, 2007). Ces structures, connues sous le nom d'arbuscules (du latin arbusculum, qui signifie arbuste), sont la caractéristique clé de la symbiose (MA) et qui sont considérés comme le site d'échanges de nutriments entre les partenaires symbiotiques (Parniske, 2008 ; Neera et Shikha, 2010).

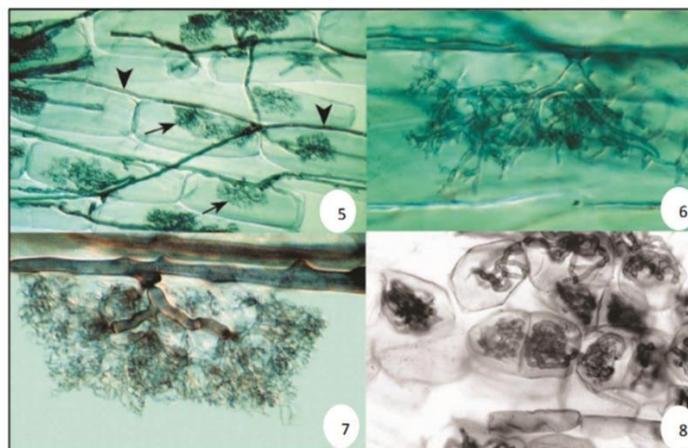


Figure 4: Différentes structures d'arbuscules de *Glomus mossea* observées dans les racines d'*Allium porrum* : (a) Hyphe intercellulaire (pointes de flèche) et arbuscules (flèches); (b) Stade précoce de la formation des arbuscules; (c) Arbuscule entièrement développé; (d) enroulements hyphaliques, (Peterson et al., 2004).

C. Les vésicules (V)

Les CMA forment des vésicules intracellulaires ou intercellulaires dans leur position terminale ou intercalaire (selon les genres). Les vésicules ont une paroi très fine, en particulier dans les racines anciennes, de forme globulaire, oblongue, irrégulière ou rugueuse (par exemple, *Glomus*, *Pacispora*, *Acaulospora* et *Entrophospora* respectivement) (Redecker *et al.*, 2013). Certains genres de l'ordre des Diversisporales, comme *Gigaspora* et *Scutellospora* sont dépourvus de vésicules (Peyret Guzzon, 2014). Elles jouent un rôle important dans le stockage des nutriments et dans certains cas elles peuvent assumer une fonction reproductrice comme propagule (Berbara *et al.*, 2006 ; Souza, 2015)

D. Les cellules auxiliaires (AC)

Les cellules auxiliaires sont formées à partir dès l'hyphes extraracinaires chez certaines espèces appartenant à l'Ordre des Diversisporales (Redecker *et al.*, 2013). Elles se présentent soit isolées où en grappes (Morton et Benny, 1990). Les parois des cellulaires sont découpées souvent ornés soit d'épines (exemple: *Gigaspora albida*) ou de nodules (exemple: *Scutellospora pellucida*) (Schüßler *et al.*, 2001). Ces structures ont des fonctions de stockage (Souza, 2015)

D. Les spores

Les spores sont des organes de réserves et de dissémination et qui constituent au mêmes temps la principale structure anatomique qui sert à la détermination morphologique des espèces de CMA (figure 5).

Les spores fongiques sont à noyaux multiples soit unicellulaires ou pluricellulaires et qui varie considérablement d'une espèce à l'autre et même au sein d'une espèce (Hijri et Sanders, 2005; Lacey et West, 2007; Theo Ruissen, 2013). Elles sont de forme globulaire, sous-globulaire ou irrégulier et de taille très fluctuante allant de 30µm de diamètre pour certains *Glomo-archaeosporoides* et *Glomo-intrasporoides* (Oehl *et al.*, 2011 ; Krüger *et al.*, 2011) à 1000µm pour les spores de *Gigaspora gigantea* (International culture collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal fungi – INVAM). Elles ont des couleurs très variées allant de hyalines (blanc, pâle, jaune,...) avec des parois fines à foncées (rouge, rose, brun ou foncé) avec des parois épaisses (Lacey et West, 2007; Peyret-Guzzon, 2014). Les spores AMF sont formées par des lipides, du cytoplasme et de nombreux noyaux (Dalpé *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2005; Goto et Maia 2006; Oehl *et al.*, 2008; Redecker *et al.*, 2013; Souza, 2015).

Ces spores peuvent germer en absence de plantes hôtes mais dépendent d'un partenaire végétal pour compléter leur cycle de vie et produire la prochaine génération de spores qui se produit généralement dans les 3 à 4 semaines suivant le début de la colonisation mycorrhizienne (Berbara *et al.*, 2006; Parniske, 2008).

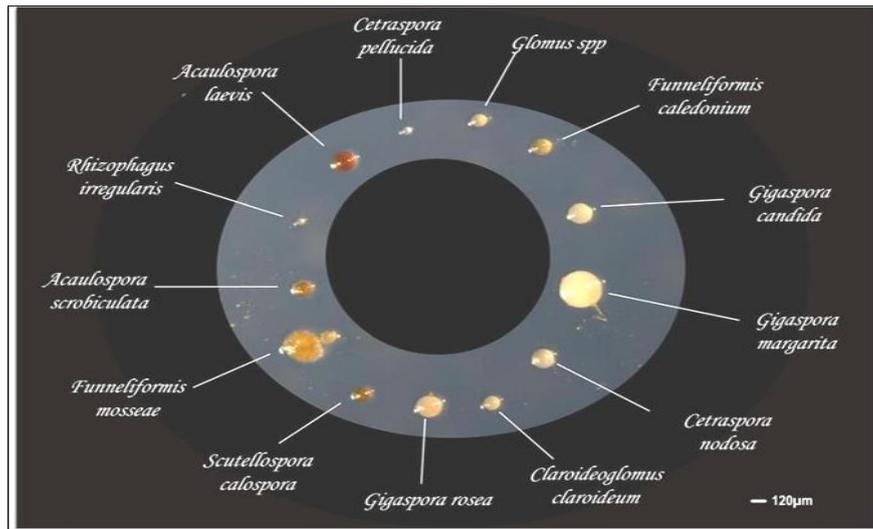


Figure 5: Spores de différentes espèces de champignons mycorhiziens à arbuscules selon Trouvelot *et al.* (2015).

132 Cycle de développement des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA)

Les CMA sont des biotrophes obligatoires à cause de leurs hétérotrophies pour le carbone et également pour leurs incapacités de compléter leur cycle de vie de manière asymbiotique (Bofante et Bianciotto, 1995; Requena *et al.*, 2007).

L'établissement de la symbiose mycorhizienne à arbuscules débute par le contact entre une racine compatible avec les hyphes germinatifs produites par les propagules du CMA (spores asexuées ou racines déjà mycorhizées). La germination des spores se produit

La colonisation des racines par ces champignons suit trois phases (figure 6):

1.3.2.1. Phase asymbiotique: germination de la spore et ramification de l'hyphes germinative

Les spores peuvent germer spontanément lorsque les conditions de température et d'hygrométrie sont optimales et produire un hyphes germinatif et quelques ramifications primaires sans stimulus exogène (Siquiera *et al.*, 1985). Lorsqu'aucun partenaire végétal est à proximité, les hyphes germinatifs se cloisonnent et le cytoplasme se rétracte dans la spore (Requena *et al.*, 2007). Ces spores sont capables de germer ou d'entrer à nouveau en dormance de nombreuses fois, si des signaux racinaires ne sont pas perçus (Koske, 1981).

1.3.2.2. Phase pré-symbiotique: le dialogue entre la plante et le champignon mycorhizogène

Avant le premier contact physique, les deux partenaires de la symbiose émettent des signaux dans le sol, qui leur permettent d'être signalés de leur présence respective. Un certain nombre de gènes impliqués dans l'établissement de la symbiose seront alors activés (Bonfante *et al.*, 1980).

1.3.2.3. Phase symbiotique: colonisation des racines de l'hôte

Partie Bibliographique

Les champignons forment une structure renflée au contact de l'épiderme appelée hyphopode. Les cellules végétales réorganisent leur cytosquelette et forment un système membranaire de pré-pénétration, qui va permettre au champignon d'entrer et d'atteindre la zone corticale de la racine pour y développer des structures hyper-ramifiées appelées arbuscules, lieu d'échanges entre les partenaires (Genre *et al.*, 2005).

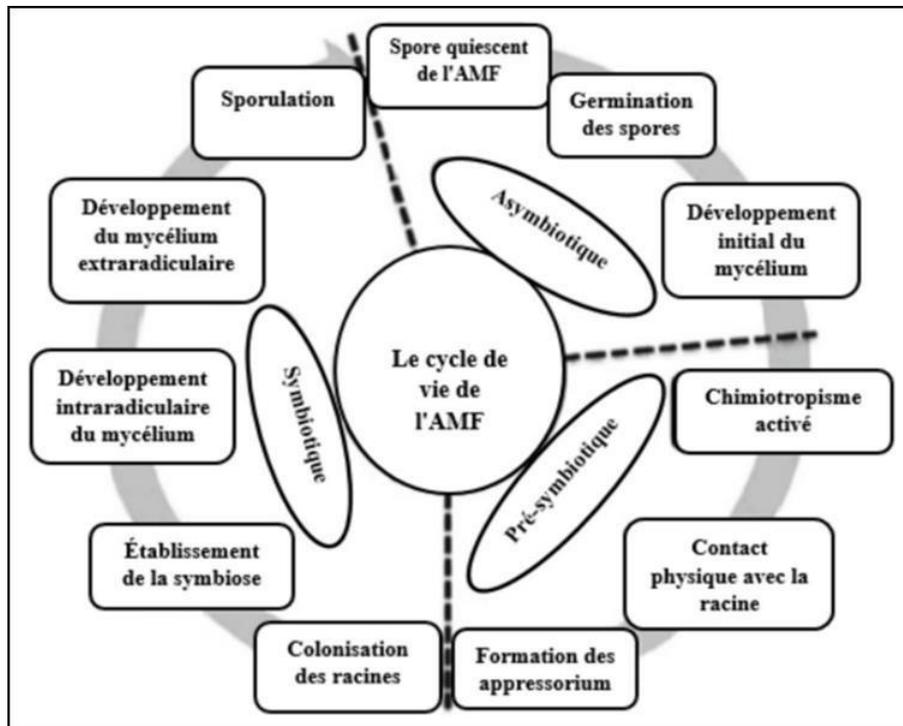


Figure 6 : Principaux processus au cours du cycle de vie des AMF (Souza, 2015).

1.4. Classification des champignons mycorhiziens arbusculaires

La symbiose endomycorhizienne à arbuscules est une des symbioses les plus importantes anciennement classées dans l'ordre des Glomérales, embranchement des Zygomycota (Tancredo, 2015). Des études morphologiques et phylogénétiques ont pu réorganiser les champignons mycorhiziens arbusculaires dans un nouvel embranchement: les Glomeromycota (Figure 7). Actuellement ce groupe fongique est divisé en quatre ordres, onze familles, vingt-cinq genres et plus de deux cents espèces (Redecker *et al.*, 2013). Les CMA se distinguent par la formation des hyphes intercellulaire et des arbuscules dans les cellules corticales racinaires (Dickson, 2004).

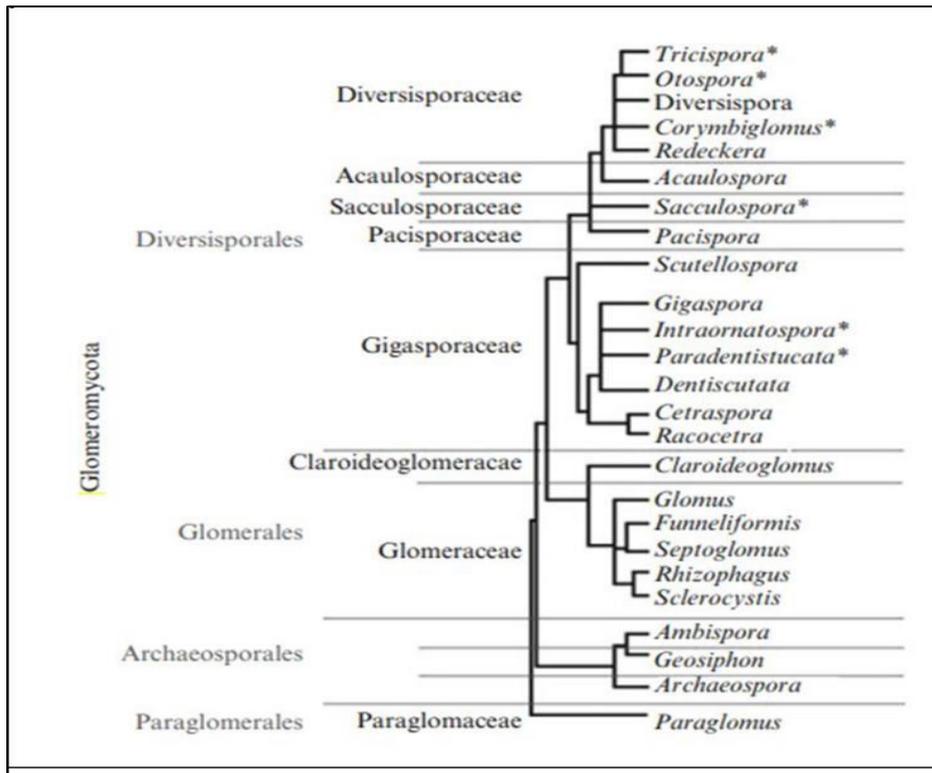


Figure 7: Taxonomie des CMA proposé par Oehl *et al.* (2011), Krüger *et al.* (2012) et Redecker *et al.* (2013).

La majorité des recherches sur la diversité des CMA a été basée sur les différences morphologiques de spores isolées du sol (forme, taille, couleur, paroi, ornementation, etc). Par ailleurs, le comptage des spores et leur identification ne reflètent pas suffisamment la structure des communautés réellement actives dans les racines (Alvarez-Sanchez, 1999 ; Picone, 2000;. Guadarrama et Zhang *et al.*, 2004; Singh *et al.*, 2008). Cependant, le peu de variations morphologiques entre les spores rend difficile l'identification de différents taxons ainsi que, de distinguer entre les différentes souches (Sanders *et al.*, 1995; Schüßler *et al.*, 2001; Redecker et Raab, 2006; Sokolski *et al.*, 2011).

Au cours des dix dernières années, il y a eu des progrès spectaculaires dans les technologies et les outils de génétique moléculaire. Les analyses génétiques des champignons AM ont été utilisées pour explorer la structure génétique de spores uniques à l'aide du génotypage multilocus qui a considérablement augmenté la diversité moléculaire décrite au sein du phylum Glomeromycota (Opik et Maarja, 2013). Par conséquent, des marqueurs phylogénétiques utilisés ont permis de différencier entre *Archaeosporaceae*, *Gigasporaceae*, *Acaulosporaceae* et *Glomeraceae*.

1.5. Importance des champignons MA

Les champignons mycorhiziens sont présents naturellement dans le sol. Ils jouent un rôle de biofertilisant très important en agriculture et en foresterie. Le meilleur développement des plantes suite à la formation des mycorhizes résulte de l'influence positive de ces dernières sur certains aspects de la physiologie végétale (Dalpé, 2006).

Partie Bibliographie

D'après (Fortin *et al.*, 2008), la présence des mycorhizes modifie et engendre généralement six fonctions principales : l'absorption des éléments minéraux, l'absorption de l'eau, l'activité hormonale, l'agrégation des sols, la protection contre les organismes pathogènes et la résistance aux stress environnementaux.

15.1. Nutrition minérale des plantes

Les champignons mycorrhizogènes sont connus pour faciliter l'absorption de plusieurs éléments minéraux par les végétaux auxquels ils sont associés (Smith et Gianinazzi, 1988), notamment ceux qui sont peu mobiles et qui sont présents en faible quantité dans la solution du sol tels que: le phosphore, le soufre, le potassium, le zinc, le calcium et le magnésium (tableau 2) (Bouhired, 1984). D'après (Plenchette., 1982), l'apport en nutrition phosphatée des plantes mycorhizées est la conséquence de 2 mécanismes: une exploitation plus grande du volume du sol par les hyphes fongiques qui s'étendent au-delà de la zone d'épuisement de la plante ainsi qu'une absorption intense près de la racine, due à la plus grande surface absorbante des hyphes fongiques. Le réseau mycélien de la mycorrhizosphère solutionne le problème ce qui permet à la plante mycorhizée de disposer de plus d'énergie pour fabriquer ses parties aériennes: tige, feuilles, fleurs et fruits (Bolan *et al.*, 1984, Bolan et Robson 1987; Fortin *et al.*, 2008).

Des travaux récents ont également démontrent clairement que le mycélium fongique intervient en synergie avec les microorganismes du sol dans la décomposition de la matière organique, donnant ainsi accès à des éléments minéraux emprisonnés dans les résidus végétaux ou animaux (Fortin *et al.*, 2008).

Tableau 2: Amélioration de la nutrition des plantes grâce aux mycorhizes (Nadeem *et al.*, 2017).

Substance nutritive	Culture	Mycorhizes	Références
Azote (N)	Pois d'Angole (<i>Cajanus cajan</i>)	<i>Glomus mosseae</i>	(Garg et Manchanda , 2008)
	Chanvres de rivière (<i>Serbania aegyptiaca</i>)	<i>Glomus macrocarpum</i>	(Giri et Mukerji, 2004)
	Trèfle blanc (<i>Trifolium repens</i>)	<i>Glomus mosseae</i>	(Medina <i>et al.</i> , 2006)
Phosphore (P)	Soja (<i>Glycine max</i>)	<i>Glomus etunicatum</i>	(Sharifi <i>et al.</i> , 2007)
	Coton (<i>Gossypium arboretum</i>)	<i>Glomus mosseae</i>	(Tian <i>et al.</i> , 2004)
	Maïs (<i>Zea mays</i>)	<i>Glomus mosseae</i>	(Feng <i>et al.</i> , 2002)
	Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	<i>Glomus mosseae</i>	(Al-Karaki, 2000)
	Trèfle blanc (<i>Trifolium repens</i>)	<i>Glomus mosseae</i>	(Medina <i>et al.</i> , 2006)
	Trèfle blanc (<i>Trifolium repens</i>)	<i>Glomus mosseae</i>	(Medina <i>et al.</i> , 2006)
Potassium (K)	Soja (<i>Glycine max</i>)	<i>Glomus etunicatum</i>	(Sharifi <i>et al.</i> , 2007)
	Trèfle blanc (<i>Trifolium repens</i>)	<i>Glomus mosseae</i>	(Medina <i>et al.</i> , 2006)
Calcium (Ca)	Soja (<i>Glycine max</i>)	<i>Glomus etunicatum</i>	(Giri et Mukerji, 2004)

Partie Bibliographie

Magnésium (Mg)	Chanvres de rivière (<i>Serbania aegyptiaca</i>)	<i>Glomus macrocarpum</i>	(Giri et Mukerji, 2004)
Soufre (S)	Criquet noir (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	<i>Rhizophage intraradices</i>	(Yang <i>et al.</i> , 2016)
Chlorure (Cl)	Coton (<i>Gossypium arboretum</i>)	<i>Glomus mosseae</i>	(Tian <i>et al.</i> , 2004)
Zinc (Zn)	Soja (<i>Glycine max</i>)	<i>Glomus etunicatum</i>	(Sharifi <i>et al.</i> , 2007)
	Saule de corbeille (<i>Salix viminalis</i>)	<i>Glomus intraradices</i>	(Bissonnette <i>et al.</i> , 2010)
	Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	<i>Glomus mosseae</i>	(Watts-Williams <i>et al.</i> , 2013)
Cuivre (Cu)	Menthe en arbre (<i>Elsholtzia splendens</i>)	<i>Gigaspora margarita</i> ; <i>Gigaspora decipiens</i> ; <i>Scutellospora gilmori</i> ; <i>Acaulospora</i> sp.	(Wang <i>et al.</i> , 2005)

152 Alimentation hydrique des plantes par les CMA

Chez les plantes mycorhizées la meilleure absorption de l'eau et des éléments minéraux se fait grâce à la capacité des champignons mycorhiziens à les absorber par leur réseau d'hyphes dans le sol et à les transférer ensuite vers les racines de la plante hôte. Il est estimé que la longueur d'hyphes des endomycorhizes se développant dans le sol autour de chaque centimètre de racine peut atteindre 1,34m (Tisdall et Dades, 1979 cités par Gianinazzi-Pearson, 1982).

Les plantes mycorhizées soumises à des périodes de sécheresse ont un meilleur développement que celles non mycorhizées et elles résistent mieux au choc hydrique rencontré pendant leur transplantation (Cornet *et al.*, 1982; Smith et Read, 1997; Augé, 2001). En effet, le mycélium des champignons peut aller puiser l'eau dans de petits interstices et agrégats du sol qui ne sont pas accessibles aux racines. Par ailleurs, des travaux en démontrent que la plante hôte résiste au stress hydrique grâce au déclenchement d'un signal par le champignon symbiotique permettant une fermeture plus rapide des stomates de sa partie aérienne (Fortin *et al.*, 2008). Autres auteurs ont également révélé l'influence des champignons mycorhizogènes sur la régulation endogène du métabolisme hormonal (Lapeyerie, 1982, Lapeyerie 1990). Les champignons mycorhizogènes quant à eux tirent un grand profit des composés carbonés que la plante synthétise par le biais de la photosynthèse (Garbaye, 1988). D'après Fortin *et al.*, (2008) les injections d'auxine favorise le transfert des sucres de la racine vers le champignon.

153 Protection de la plante

Les avantages de la symbiose mycorhizienne comportent également un accroissement de la résistance végétale face aux stress environnementaux (Les pollutions organiques et métalliques, la salinité, l'acidité, ...) et aux pathogènes (St-Arnaud *et al.*, 1997; Joner et Leyval, 2003; Lambers *et al.*, 2008; Smith et Read, 2008).

De nombreux travaux ont indiqué l'effet bio-protecteur des mycorhizes contre les agresseurs biotiques des plantes en réduisant ou même en inhibant l'effet de certains agents phytoparasites (Boullard, 1977, Smith, 1987). Les champignons mycorhizogènes peuvent intervenir à deux endroits et par deux mécanismes pour protéger la plante contre les pathogènes : dans la mycorhizosphère et dans les tissus de la racine :

a- Le premier mécanisme se déroule dans la flore mycorhizosphérique: les micro-organismes sont confrontés à la compétition et à l'antagonisme, ce qui a pour effet d'établir une flore microbienne diversifiée et équilibrée. Les propagules des champignons pathogènes ne parviennent pas à proliférer et leur nombre reste toujours restreint. Par exemple les propagules des champignons qui causent la fusariose chez la tomate ou ceux qui provoquent la pourriture racinaire chez les œillets d'inde sont 3 à 10 fois moins nombreux dans la mycorhizosphère que dans la rhizosphère des plantes non mycorhizées (Dalpé, 2005).

b- Pour le second mécanisme: les plantes agressées par un agent pathogène réagissent en produisant des substances antibiotiques contre ces micro-organismes (Pfelger et Linderman, 1994; Fortin *et al.*, 2008).

Certains auteurs ont révélé que le mycélium des champignons mycorhiziens arbusculaires fournit des composés riches en carbone et d'autres signaux bioactifs, ce qui stimule l'activité microbienne dans la rhizosphère dont certain présente une activité antagoniste contre certain agents phytopathogènes (Dalpé, 2005; Barto *et al.*, 2012).

154 Amélioration de la qualité du sol

Les champignons mycorhiziens arbusculaires ont un impact sur la qualité du sol, et à leur tour, ils sont eux-mêmes influencés par les propriétés des sols (Gianinazzi *et al.*, 2010; Ruissen, 2013). Les CMA participent dans la formation, le maintien et la stabilité des agrégats qui améliore significativement la structure du sol et cela, grâce essentiellement à la production de la glycoprotéine appelée glomaline qui est une colle pour les particules du sol (Rillig *et al.*, 2001; Pagano, 2014; Van der Heijden *et al.*, 2015). De plus, la formation d'agrégats stables dans le sol peut être aussi attribuée au mycélium extra-racinaire des champignons, qui constitue un réseau tridimensionnel qui relie la plante au sol environnant (Jeffries et Barea, 2000; Rillig et Mummey, 2006) ce qui influence profondément la composition et la dynamique des communautés végétales (van der Heijden *et al.*, 1998; Simard et Durall, 2004; Kisa *et al.*, 2007; Sanon *et al.*, 2011; Klironomos *et al.*, 2011).. Selon certain auteurs, les CMA peuvent stabiliser les sols jusqu'à 5 mois après le décès de leur hôte (Asmelash *et al.*, 2016).

155. Rôle écologique des mycorhizes dans les agro-écosystèmes

Les champignons mycorhiziens sont généralement décrits comme des composantes essentielles des systèmes sol-plantes. Représentant une interface clef entre les plantes hôtes et les (macro- et micro-) nutriments du sol, Des interactions synergiques ont été également décrites entre le développement des symbiotes mycorhiziens et celui d'autres microorganismes tels que les PGPRs (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) qui sont importants par leur rôle, non seulement, dans l'amélioration substantielle de la croissance et en gain de poids des plantes mais aussi dans la pérennisation de la productivité végétale et qui contribuent également dans le cycle des nutriments minéraux du sol (Founoune *et al.*, 2002; Johansson *et al.*, 2004; André *et al.*, 2005; Duponnois *et al.*, 2005; Ramanankierana *et al.*, 2006).

Par ailleurs, il a été rapporté que le réseau d'hyphes faciliterait l'établissement de plantules de même espèce ou d'espèces différentes sous un arbre mature en homogénéisant l'accès aux nutriments (Simard et Durall, 2004; Smith et Read, 2008), ce qui pourrait promouvoir la diversité végétale entre espèces dominantes et celles moins compétitives (Kisa *et al.*, 2007). D'une manière générale, les symbioses mycorhiziennes constituent des agents biologiques de promotion de biodiversité et de productivité dans les communautés végétales (van der Heijden *et al.*, 1998; Hart *et al.*, 2003; Klironomos *et al.*, 2011).

1.6. Influence de l'environnement sur les mycorhizes

Le développement des champignons mycorhiziens peut être influencé par certains facteurs qui sont:

1.6.1. Influence des facteurs climatiques

1.6.1.1. Influence de la température

L'influence de la température est très mal connue. Le développement des mycorhizes paraissant coïncider avec les périodes de végétation, on en conclut que la température optimale pour la formation des mycorhizes se trouve dans l'éventail des températures du sol en été, qui est entre 12 et 20 C° (Planchette,1991).

1.6.1.2. Influence de la lumière

Des recherches réalisées par Smith et Smith (1996) et Ouahmane *et al.* (2008) ont montré que la colonisation des racines d'arbre dans les trouées de lumière pourrait être plus élevée que ceux qui poussent sous ombrage en raison d'une forte activité photosynthétique et par conséquent, une plus grande disponibilité de carbohydrates pour le champignon mycorhizien.

1.6.1.3. Influence des saisons

Plusieurs auteurs, ont constaté une influence des saisons sur le taux de la mycorhization des racines mycorhizées et le nombre de spores dans le sol. Il a été également révélé que, les mycorhizes sont plus abondantes au printemps et à l'arrière-saison, par contre, les

ectomycorhizes sont certainement annuelles, s'altérant dès la seconde année, par contre, les mycorhizes endotrophes s'observent tout au long de l'année (Lopez-Sanchez et honrubia, 1992; Lugo et Cabello, 2002; Zougari-Elwedi *et al.*, 2012).

1.6.2 Influence des facteurs édaphiques

1.6.2.1. Influence hydrique

Le minimum d'humidité est souhaitable par le complexe mycorhizien. Les mycorhizes sont fortement altérés ou disparaissent souvent sous l'effet de la sécheresse (Meddich *et al.*, 2000).

1.6.2.2. Influence de la matière organique

La matière organique constitue certainement un lieu favorable à la permanence des mycorhizes dans le sol à condition qu'elle ne soit pas toxique (Zhu et Miller, 2003). En outre, la mycorhization arbusculaire peut aider à accélérer la décomposition de la matière organique (sharma et adholeya,2000).

Dechamplain et Gosselin (2002) ont montré que des échanges de carbone peuvent se produire d'une plante à l'autre, y compris entre des espèces différentes, et cela lorsque les mycorhizes colonisent des systèmes racinaires différents tout en étant exposés à de différentes conditions de lumière. Ainsi, le sapin douglas fournit environ 9,5 % de la quantité totale de carbone fixée grâce à la photosynthèse au boulot.

Néanmoins, l'application de la matière organique instable peut introduire un certain nombre d'effets négatifs sur les propriétés du sol, telle que l'augmentation du taux de minéralisation du carbone organique dans les conditions anaérobies et dégagement des substances phytotoxiques, qui peuvent avoir un effet négatif directe sur la croissance des plantes et/ou la diminution de la symbiose mycorhizienne (Certi *et al.*, 2004).

1.6.3 Influence des facteurs anthropiques

Certaines applications agricoles réduisent de façon drastique le développement des champignons mycorhiziens dans les sols, compromettant ainsi la survie et la croissance des plantes qui en dépendent telles que : ajout d'intrants agricoles (engrais, pesticides, herbicides,...), certains travaux culturaux (labour, défrichage, feux de brousse,...) et itinéraires techniques (monoculture en continu, ...) (Mosse, 1986; Sylvia, 1990; Jasper *et al.*, 1991; Hamel, 1996).

1.6.3.1. La fertilisation

La mycorhization n'est pas inhibée par une fertilisation en NPK (Azote, phosphore, potassium), elle augmente l'efficacité de ces minéraux au profit de la culture (Sow *et al.*, 2008). Par contre, les apports importants de phosphates solubles diminuent le taux d'infection mycorhizienne et peuvent aboutir à l'élimination des effets positifs de cette association sur le rendement des plantes (Ingleby *et al.*, 2001).

1.6.3.2. L'application des pesticides

Le traitement du sol par des fongicides tels que le prothiocarde, le benomyl ou l'ethylphosphite d'aluminium aboutit à une diminution de l'intensité de l'endomycorhization chez certaines cultures (Gianinazzi, 1982; SARR *et al.*, 2013).

2. Tomate (*Lycopersicon esculentum*)

2.1. Généralité sur la tomate

La tomate (*Lycopersicon esculentum*) proviendrait d'une solanacée sauvage (tomate cerise), originaire des Andes de l'Amérique du Sud, dans une zone allant du Sud de la Colombie au Nord du Chili et de la côte Pacifique, aux contreforts des Andes (Equateur, Pérou). D'abord elle a été cultivée au Pérou, ensuite domestiquée par les indiens du Mexique (Charles, 1956; Philouze, 1993; Blancard, 2009). L'introduction de la tomate au Maghreb fut par les Morisques vers la fin du XVIIIème siècle en premier lieu au Maroc puis en Algérie vers la fin du XIXème siècle et plus précisément dans l'Oranais, ensuite elle s'est étendue dans le reste du nord Algérien, étant donné les conditions du sol et le climat sont propices pour sa culture (figure 8) (Latigui, 1984; Naik *et al.*, 2005).

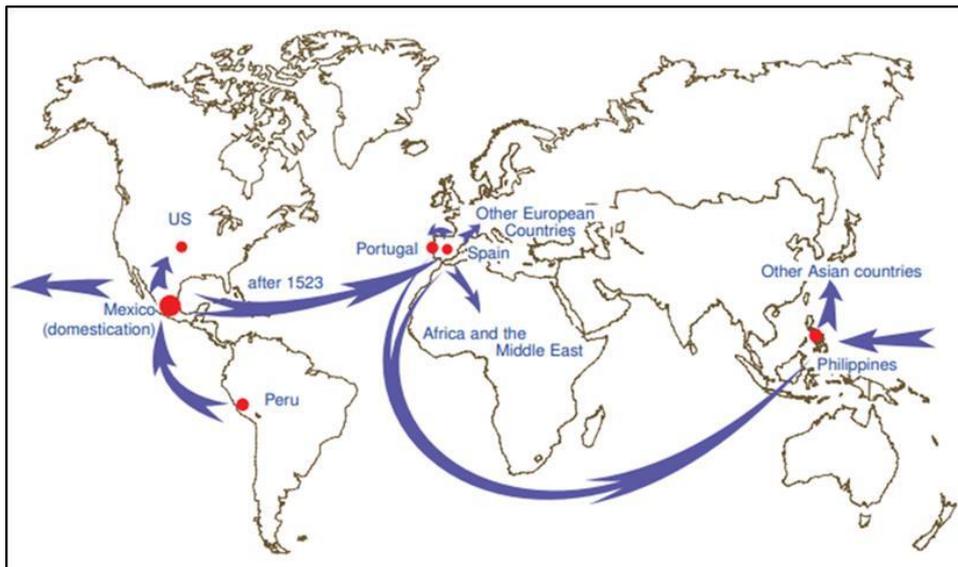


Figure 8: carte pour montrer l'expansion possible de la culture de tomates dans le monde entier.

Ce légume-fruit particulièrement sain, présente une excellente valeur nutritive et gustative, une grande richesse organoleptique et c'est l'un des premiers apports en provitamines A et C de notre organisme. Il contient également du magnésium, du phosphore et des oligo-éléments. (CGERV, 2007)

La tomate représente aujourd'hui un des légumes-fruits les plus populaires et les plus recherchés dans le monde, cultivée pour son fruit consommé à l'état frais ou transformé (Chaux et Foury, 1994; Donaya *et al.*, 2008). En Algérie, elle représente 8,8% de la production nationale et se place au premier rang parmi les cultures maraîchères après la pomme de terre avec un pourcentage de 51% (Figure 9). La plante est cultivée sous serre et en plein champ avec des superficies exploitées très importantes, qui ont atteint plus de

Partie Bibliographie

26.000 ha en 2021 avec une production à plus de 23 millions de quintaux en 2021, enregistrant une croissance de plus de 17% par rapport à l'exercice précédent (Anonyme2,).

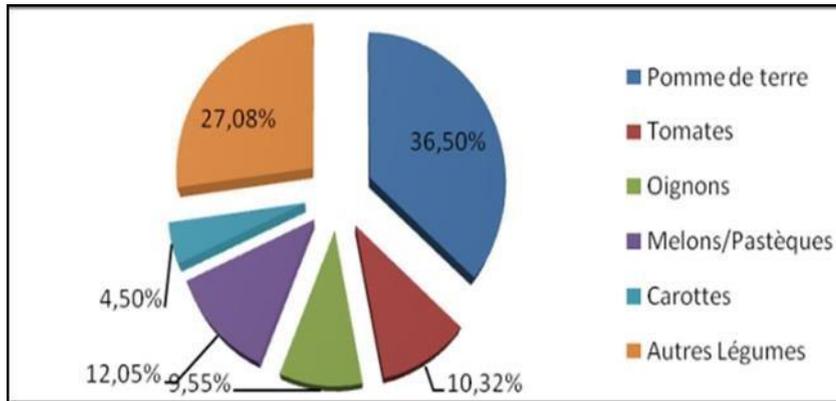


Figure 9 : Graphe des principales productions maraîchères en % en Algérie (Sahali *et al.* 2021).

2.2. Classification de la tomate

La tomate appartient au genre *Solanum* de la famille des Solanacées (Spooneret al., 2005; Boro, 2014), regroupant 13 espèces réparties en 7000 variétés (Spooner *et al.*, 2005). La tomate a eu plusieurs noms scientifiques au fil des ans, En 1753, le botaniste Suédois Linnaeus l'a nommée *Solanum lycopersicum* (Spooneret al., 1993). Par la suite, (Taylor, 1986) a remplacé le nom par *lycopersicum esculentum*, dont le nom est un composite gréco-latin qui signifie: *lycopersicum* « pêche de loup » et *esculentum* « comestible ». Plus récemment, les taxonomistes ont reclassé la tomate dans le genre *Solanum* en se basant sur des informations génétiques (Dumas, 2012).

Selon Munroe et Small (1997), la tomate appartient à la classification suivante :

Règne	Plantae
Sous règne	Trachenobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Asteridae
Ordre	Soloniales.
Famille	Solanaceae
Genre	<i>Solanum</i> ou <i>Lycopersicon</i>
Espèce	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill

2.3. Description botanique de la tomate

La tomate (*lycopersicum esculentum*) appartient au groupe des légumes-fruits faisant partie de la même famille que la pomme de terre, le piment, l'aubergine et le tabac (Baba Aissat, 1999; Shankara *et al.*, 2005).

C'est une espèce herbacée annuelle, qui peut être pérenne dans certaines conditions et autogame (figure 10). Le port est grimpant ou rampant, buissonnant en l'absence totale de taille portant des feuilles imparipennées alternes disposées en spirale, simples ou composés, entières à profondément lobés. L'inflorescence est de type cyme unipare terminale situées.

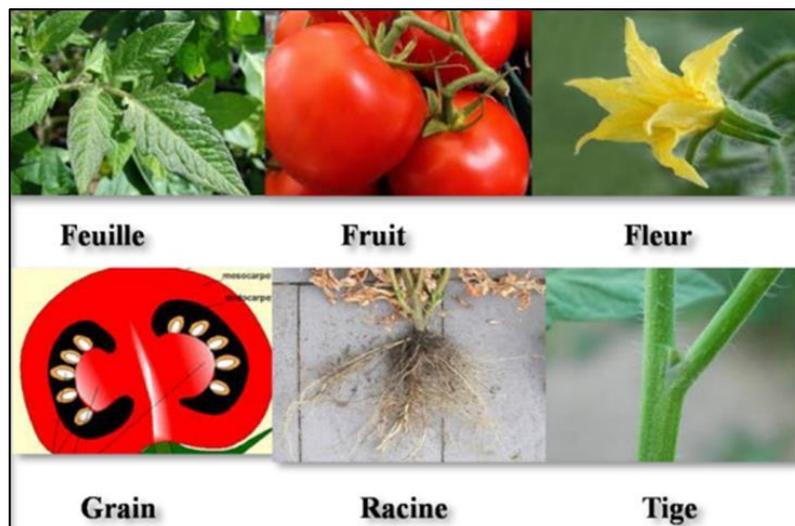


Figure 10 : Les différentes parties de la tomate (Anonyme 3).

Généralement à l'angle des divisions de la tige ou rameau ou entre les nœuds qui porte un nombre de fleurs très variable en fonction du génotype (Péron, 2006). Les fleurs sont solitaires ou rassemblées en petites grappes, parfaites avec étamines et pistil, à pétales jaunes soudés à la base, donnant à la fleur la forme d'une étoile et à calice court et velu. Le fruit est une baie ou une capsule, charnu et tendre, renferment des graines appelées pépins, ces derniers sont entourés de mucilage provenant de l'enveloppe de la graine (Polese, 2007).

2.4. Culture de la tomate

La culture de la tomate fait appel à diverses techniques: culture en plein champ, sous abri léger, en serre, culture hydroponique et cela dans le cadre de deux filières distinctes: la tomate de marché pour la consommation à l'état frais et la tomate d'industrie pour la transformation (conserves, surgelés, plats cuisinés...).

Elle est également très cultivée dans les jardins potagers des particuliers, donnant lieu à une autoconsommation importante. Actuellement, la tomate et plus que d'autre produit agricoles, a beaucoup bénéficié du progrès technique, particulièrement dans le domaine de la sélection génétique, de la biotechnologie et de la modernisation des méthodes de culture.

Le cycle de production de la tomate est compris entre 90 et 120 jours (figure 11). Il comprend plusieurs phases qui sont :

241. Germination et la croissance

La germination est de type épigé et elle nécessite une température ambiante d'environ 20°C et une humidité relative de 70 à 80% (Chaux et Foury, 1994). La croissance se déroule en deux phases et dans deux milieux différents (Laumonier, 1979). D'abord en pépinière, de la levée jusqu'au stade de six feuilles, nommées prés-feuilles), avec l'apparition des racines non fonctionnelles et en plein champ, après l'apparition des feuilles photosynthétiques et des racines fonctionnelles, la tige s'épaissit et augmente le nombre de feuilles.

242. Floraison et la pollinisation

La floraison traduit le développement des ébauches florales par la transformation du méristème apical de l'état végétatif, à l'état reproducteur (Chougar, 2011). Elle peut durer un mois, et dépend de la photopériode, de la température et des besoins en éléments nutritifs de la plante (Sawadogo, 2013).

243. Nouaison des fleurs et la fructification

La nouaison est l'ensemble de la gamétogenèse, la pollinisation, la croissance du tube pollinique, la fécondation des ovules et le développement des fruits « fructification ». Une température optimale de 13 à 15°C est nécessaire pour la nouaison, mais les nuits chaudes à 22°C la défavorisent (Chougar, 2011).

244. Maturation du fruit

Elle traduit le grossissement du fruit, le changement de couleur, etc. Elle dépend de la variété (Sawadogo, 2013). La lumière intense permet la synthèse active de matière organique, rapidement transportée vers les fruits en croissance à une température optimale de 18°C la nuit et 21°C le jour (Rey et Costes, 1965).

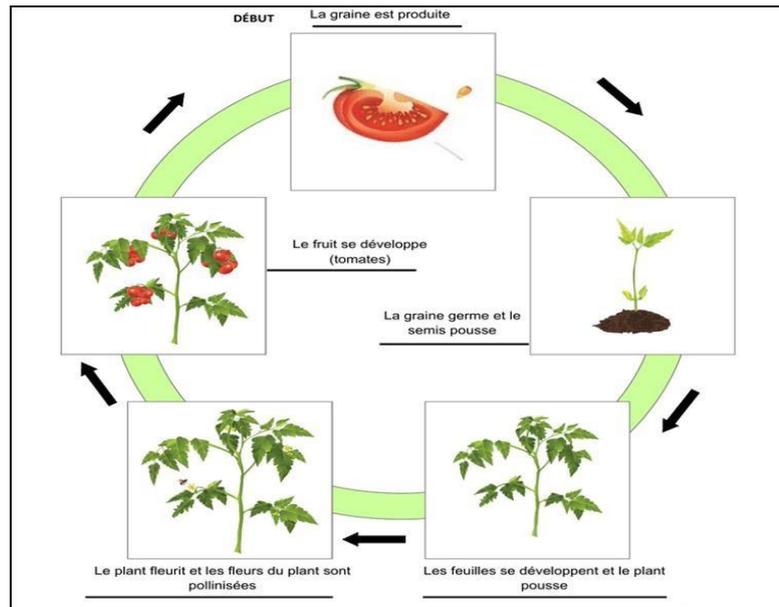


Figure 11 : le cycle de vie du plant de la tomate.

2.5. Contraintes liées à la production de la tomate

251. Contraintes abiotiques

Les maladies non parasitaires sont essentiellement dues à des déséquilibres au niveau nutritionnel ou à des facteurs naturels défavorables (Courchinoux, 2008). Ce sont entre autres: l'éclatement du fruit, la nécrose apicale et le coup de soleil sur le fruit (Chaux et Foury, 1994).

252. Contraintes biotiques

La culture de tomate peut être affectée par diverses attaques de ravageurs, de maladies, des mauvaises herbes et des accidents de végétation qui varie selon le type de culture et les conditions climatiques (Courchinoux, 2008). Les mauvaises herbes font la concurrence aux plantes de tomate pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs (Shankara *et al.*, 2005). Il existe encore autre ennemis tel que: les maladies cryptogamiques, les maladies virales, les maladies bactériennes et les ravageurs (Belahcen *et al.* 2014).

2.6. Production et importance économique de la tomate

261. Production mondiale

La tomate (*Solanum lycopersicum L.*) est devenue un des légumes les plus importants du monde, elle a de bonnes perspectives économiques et la superficie cultivée s'agrandit de jour en jour. Les tomates sont produites en vue de la consommation en frais ou en fruits transformés (Polese, 2007). La tomate est le deuxième légume le plus consommé, juste après la pomme de terre. La production mondiale a augmenté de 35% au cours des dix dernières années et se répartit comme suit: l'Asie 45%, l'Europe 22%, l'Afrique 12%, l'Amérique du Nord 11%, l'Amérique du Sud et Centrale 8%. La Méditerranée couvre

31% de la production mondiale de tomates en 2014, soit un volume global de 40 millions de tonnes environ (FAO, 2016).

262 Production de la tomate en Algérie

La culture de la tomate en Algérie est en pleine expansion, à la faveur de nombreux programmes mis en place par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Pour son développement de nouvelles techniques de production sont introduites permettant plus de rendement à l'hectare (Chougar, 2011). Elle occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne on lui consacrant annuellement une superficie importante de 26 000ha pour la culture de tomate (maraîchère et industrielle), donnant une production moyenne d'environ 23 millions de quintaux en 2021. Depuis les années 2000, et grâce à la mise en œuvre du plan national du développement agricole (PNDA). La production de la tomate a amorcé une nouvelle phase de croissance avec un taux de 276,71% (Figure 12) (Anonyme 4).

En Algérie, la tomate est cultivée selon deux modes de production à savoir en culture maraîchère et en culture industrielle. La superficie totale réservée (32962Ha) est représentée par 63,06% pour la tomate maraîchère et 36,93% pour la tomate industrielle. La tomate représente 7,94% de la superficie totale réservée aux cultures maraîchères et industrielles (Rekibi, 2015).

Matériels et méthodes

Materiel et méthodes

Ce présent travail concerne l'étude des champignons endomycorhiziens arbusculaire CMA collectés à partir de sol rhizosphérique de la variété Sigoise d'olivier ainsi que leurs effets sur certains paramètres physiologiques de croissance chez les plants de tomate inoculés par ce complexe endomycorhizogène. Les sols ont été échantillonnés à partir de trois vergés d'olivier dont par des paramètres pédoclimatiques sont différents à savoir, deux sites sont situés à l'ouest de l'Algérie: un se trouve dans une zone semi-aride localisé dans la région de Sig (wilaya de Mascara) et l'autre dans une zone humide située à côté du Lac Télamine (Wilaya d'Oran), ainsi qu'un troisième site localisé dans la région de Bechar connue pour son climat aride.

1. Situation géographique des zones d'études

1.1. Localisation des stations d'étude

1.1.1. Station de Sig (35°35'33"N, 0°12'45"E; 47m d'altitude)

La Daira de Sig est située dans la wilaya de Mascara et elle se trouve à 50 Km au Sud-Est d'Oran (Figure 13). La région de Sig est réputée par la culture de l'olivier qui est une activité agricole très ancienne qui existait même avant la conquête de l'Algérie par les colons français. Elle comprend une superficie de 2.560 ha de verger d'olivier, prédominé par la variété Sigoise (Anonyme 5)

La daira de Sig présente un écosystème steppique caractérisé par un climat thermo-méditerranéen atténué, qui est l'équivalent d'un climat semi-aride et aride tempéré avec une pluviométrie parfois inférieure à 300mm/an et dont la période sèche s'étend sur cinq mois (mai-octobre).

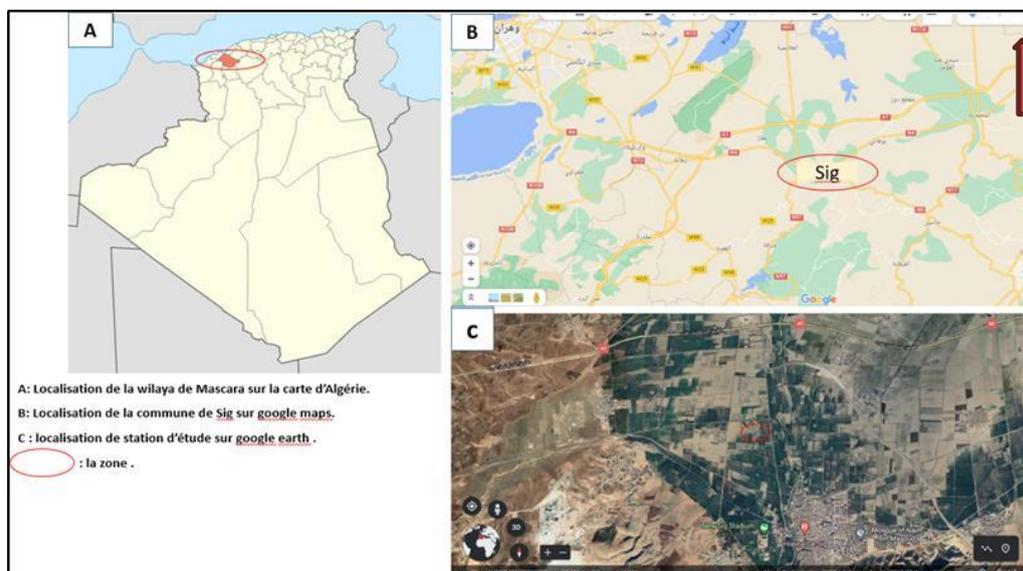


Figure 12 : la localisation de la station d'étude sur la carte géographique d'Algérie.

1.1.2. Station du Lac Télamin (35°44'12" N, 0°22'58" O; 82 m d'altitude)

Le lac Télamine est situé dans la commune de Benfréha (figure 13), d'une superficie de 2.399 ha. Il appartient au complexe des zones humides situées à l'Est d'Oran (Metallaoui, 2009) et elle est

Materiel et méthodes

classée par Ramsar comme site humide d'importance Internationale depuis le 12/12/2004 (Ramsar, 2017).

Par ailleurs, cette commune a connu un grand essor dans la culture de l'olivier, en particulier la variété Sigoise. Par ailleurs, certains verges d'olivier sont parsemés sur la majeure partie du périmètre du Lac Telamlin. Actuellement, la filière oléicole connaît une évolution d'année en année dans la wilaya d'Oran, dont la majorité se trouve à Misserghine, Boutlélis, Benfréha, Gdyl et la plaine de Mléta avec une superficie d'environ 8500 hectare (Anonyme 6).



Figure 13: Localisation géographique de la station d'étude sur la carte d'Algérie

1.1.3. Station Debdaba: (31°37'4" N, 2°12'18" O; 782m d'altitude)

La région de Debdaba est localisée dans la ville de Bechar qui se situe au Sud-Ouest de l'Algérie. (Figure 14). Le climat de la wilaya de Béchar est caractérisé par un climat de type désertique continental caractérisée par une aridité apparente (Kenyon et Hegerl, 2008; Benyattou et Bouklikha, 2017; Karim, 2017), avec des hivers doux durant lesquels il peut faire froid la nuit et des étés très chauds, secs et ensoleillés (Anonyme 7).

La wilaya de Béchar est l'une des wilayas qui a bénéficié du programme de relance de l'oléiculture dans les zones sahariennes depuis plus d'une quinzaine d'années (DSASI, 2018). Selon l'Algérie presse service, la superficie oléicole a commençait à évoluer à la faveur des réformes qu'a connues le secteur de l'agriculture en particulier celui de l'oléiculture qui occupe actuellement une superficie de 2.600 ha (Anonyme 8).

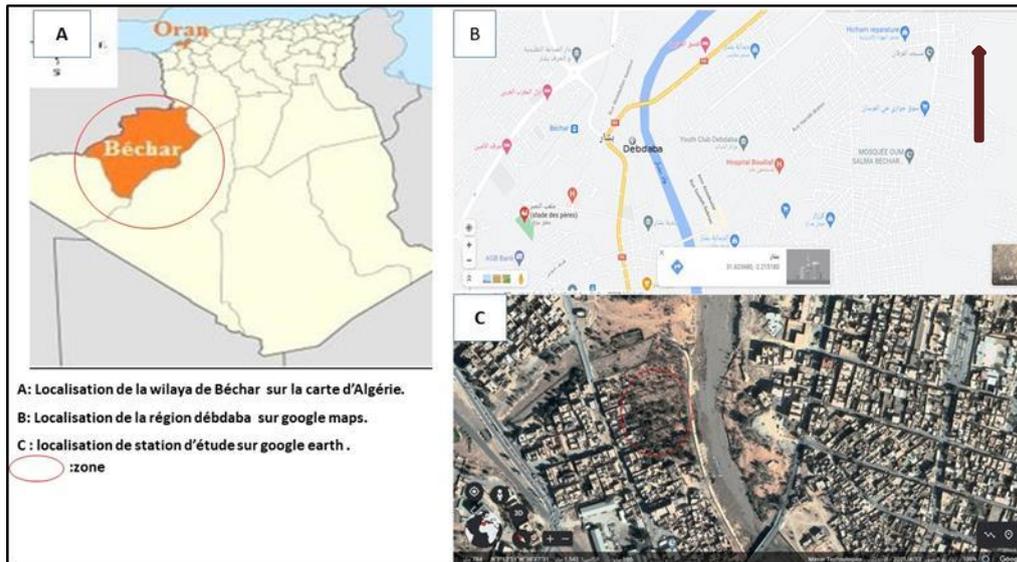


Figure 14: la localisation géographique de wilaya de Béchar

1.2. Caractéristiques climatiques des zones d'études

Selon la classification climatique de kôppen-Gieger, nos stations d'études à savoir: Sig, Lac-Télamine et Bechar sont classés respectivement dans les étages bioclimatiques semi-aride, humide et aride

Les données climatiques de ces dix dernières années (de 2011 au 2021) de chaque station d'études sont collectées et rapportées à partir d'un site web (Anonyme 9) et représentées dans les figures 16, 17 et 18.

1.2.1. Etude climatique de la wilaya d'Oran

Les données climatiques de la ville d'Oran au cours de ces dix dernières années (entre 2011-2021) sont fournies par la station météorologique 604900 (DAOR), située à une latitude de 35,63; longitude de 0,6 et à une altitude de 90m (Anonymes 10).

Les températures sont variables au cours de l'année. La saison la plus chaude s'étale du 25 juin au 21 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieur à 27°C, dont le mois d'août est le plus chaud de l'année avec une température moyenne maximale de 35°C et minimale de 21°C. Les mois de juillet et août sont les plus chauds dont certains jours la température ont atteint 41°C.

Par contre la saison fraîche est comprise entre le 24 novembre au 18 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 17°C., dont Le mois de janvier est le plus froid de l'année avec une température moyenne minimale de 6°C. et maximale de 16°C., dont certaines nuits froides ont atteint des températures comprises entre 4 à -1°C.

Par ailleurs la précipitation annuelle à Oran varie entre 247,14mm et 545,84mm dont l'année la plus pluvieuse a été 2013 avec une précipitation de 545,84mm et l'année la plus sèche a été 2020 avec une précipitation de 247,14mm. La saison connaissant le plus de

Materiel et méthodes

Précipitation et entre 26 septembre au 20 mai. Le mois le plus pluvieux à Oran est novembre, avec une chute de pluie moyenne de 53 millimètre. Par contre, La période la plus sèche de l'année est entre 4 juin au 9 septembre dont le mois juillet est le moins pluvieux avec une chute de pluie moyenne de 2 millimètres.

En ce qui concerne le taux d'humidité relative de ces dix dernières années (2011-2021), elle varie entre 68% et 74% dont la période la plus lourde dure 4,0 mois par an (du 11 juin au 11 octobre). Le mois août comprend le plus grand nombre de jours lourds ou plus accablants avec 20,2 jours. Par contre, le mois le moins de jours lourds est janvier avec 0,0 jour lourds.

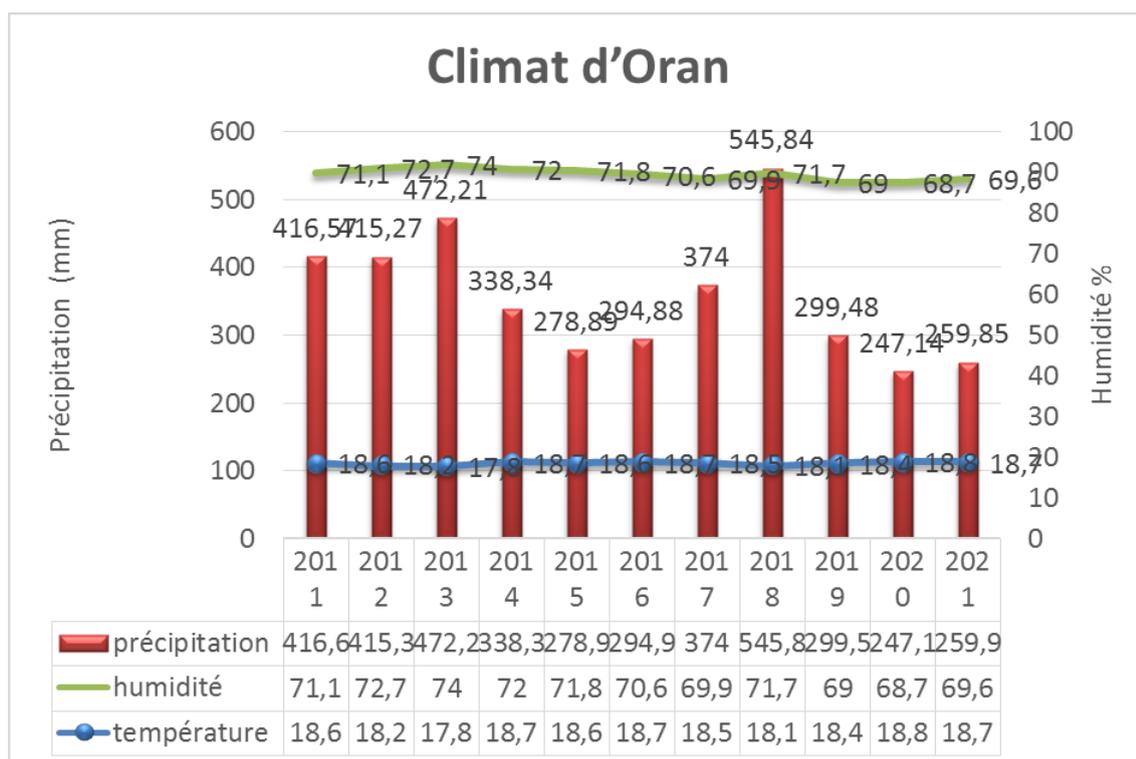


Figure 15 : graphe représente la variation climatique moyennes annuelle de la wilaya d'Oran des dix dernières années.

1.2.2. Etude climatique de la wilaya de Mascara (Sig)

Les données climatiques de ces dix dernières années (2011-2021) sur la daïra de Sig (Fig. N°), wilaya de Mascara sont fournies par la station météorologique 605070 (DAOR), située à une latitude de 35,21; longitude de 0,15 et à une altitude de 513m.

Généralement, la wilaya de Mascara connaît un climat méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers froids. D'après Köppen et Geiger, le climat y est classé Csa et dit tempéré chaud. Elle est caractérisée par des températures annuelles moyennes modérée qui varie entre 17C° et 19C° avec des étés courts, très chaud, sec et dégagé dans l'ensemble et des hivers long, frisquet, venteux et partiellement nuageux.

Au cours de ces dix dernières années, les températures ont varié entre -5,4°C à 46°C, où la saison très chaude s'étale du 18 juin au 10 septembre avec une température moyenne maximale supérieure à 25°C. Les mois les plus chauds de l'année sont juillet et août, avec des températures qui varient

Materiel et méthodes

Entre 41 à 46°C. Par contre, janvier et février sont les plus froids avec des températures qui varient de 4 au-5,4. Par ailleurs, la saison fraîche dure 4 mois, du 16 novembre au 18 mars avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 19°C.

Au cours de cette période, les précipitations annuelles moyennes ont varié entre 183,86 et 583,19mm, où 2013 a été l'année la plus pluvieuse enregistrant une précipitation de 583,19mm par contre l'année 2021 a été la plus faible avec seulement 183,86mm.

La saison connaissant le plus de précipitation dure 8,8 mois du 7 septembre au 1 juin, avec une probabilité de précipitation quotidienne supérieure à 13%, dont le mois de février connaît le plus grand nombre de jours de précipitation avec une moyenne de 6,3 jours. Par contre, la saison la plus sèche dure 3,2 mois, du 1 juin au 7 septembre dont le mois de juillet connaît moins de jours de précipitation avec une moyenne de 0,9 jour.

En ce qui concerne l'humidité perçue pendant cette période, la wilaya a connu des variations saisonnières considérables variant entre 51% et 67, où la période la plus lourde dure 3,6 mois par an (du 18 juin au 5 octobre). Le mois d'août comprend le plus grand nombre de jours lourds ou plus accablants avec au moins 12 % du temps par contre le mois le moins lourd de l'année avec un climat lourd quasiment inexistant est le mois de février.

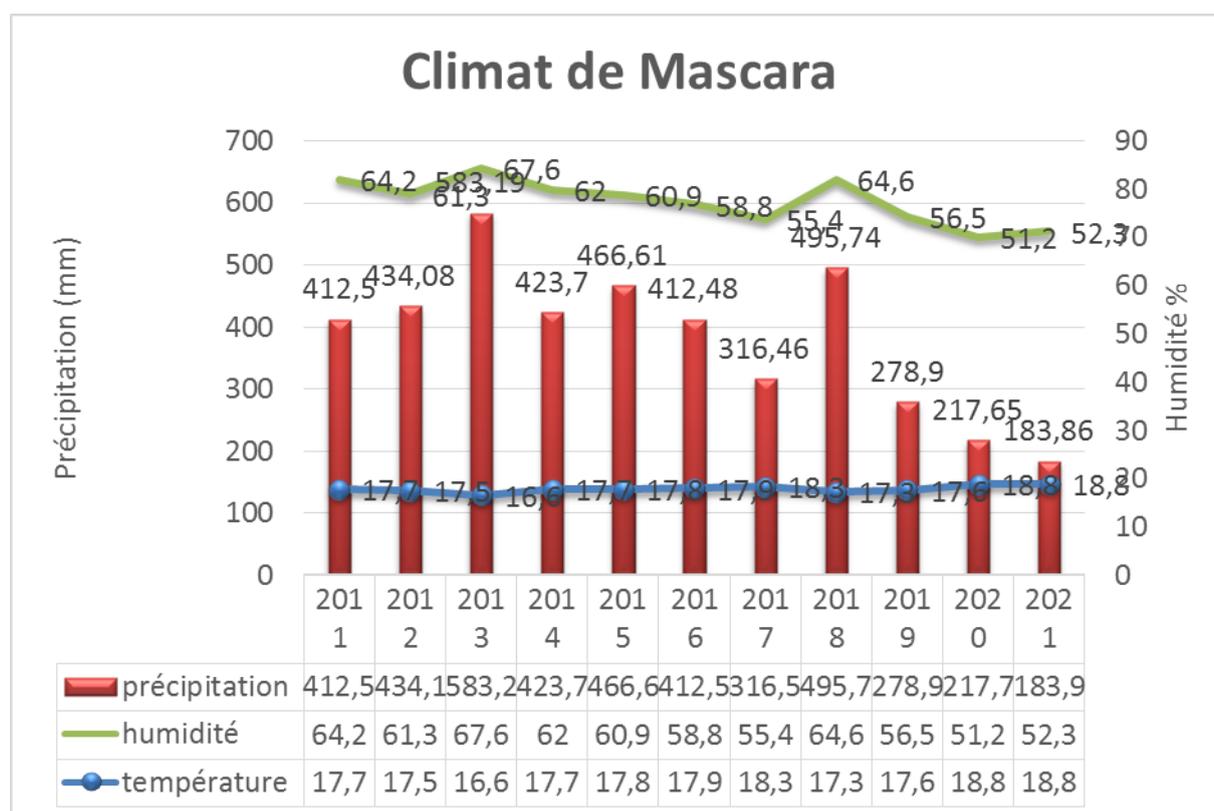


Figure 16: graphe représente la variation climatique moyennes annuelle de la wilaya de Mascara des dix dernières années.

1.2.3. Etude climatique de la wilaya de Béchar

Les données climatiques de ces dix dernières années (2011-2021) de la wilaya de Bechar (Fig. 17), sont fournies par la station météorologique 605710 (DAOR), située à une latitude de 31,5; longitude de -2,23 et à une altitude de 773m (Anonyme 12). La wilaya de Bechar est caractérisée dans l'ensemble par des étés caniculaire, aride et dégagé et des hivers frisquet, sec et dégagé.

Materiel et méthodes

D'après la carte de classification climatique de Köppen et Geiger, il s'agit plus précisément d'un climat désertique chaud et sec (BWh), connu comme un climat aride du type sec (Anonyme 13).

Au cours de ces 10 dernières années (2011-2021), la station de Bechar a connu des températures annuelles moyennes qui varient entre 21°C et 24,5°C qui correspond à des températures annuelles moyennes maximale de 27°C à 29°C et minimale de 14°C à 16°C.

La saison très chaude dure 3,0 mois (du 9 juin au 11 septembre), avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 35°C, où le mois de juillet est le plus chaud de l'année avec une température moyenne maximale de 40°C et minimale de 28°C. Par contre la saison fraîche dure 3,6 mois (du 17 novembre au 4 mars), avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 20°C. Les mois les plus froids de l'année sont janvier et février dont les températures varient de -2°C à 4°C.

Au cours de cette période, cette wilaya a connu une pluviométrie variable dont les précipitations varient entre 47mm et 143,75mm. Les années les plus pluvieuses sont 2011 et 2012 avec une chute de pluie de 143,75mm et 166,63mm respectivement. Par contre les années les moins pluvieux sont comprises entre 2017 et 2021 avec des précipitations annuelles de 43mm à 57mm. De ce fait, cette région a connu une période de sécheresse au cours de ces cinq dernières années (de 2017 au 2021), causée éventuellement par la régression des précipitations annuelles dont les variables sont afférées aux fréquences de jours de pluies et les durées des saisons pluvieuses.

La période pluvieuse de l'année dure 2 mois (du 3 octobre au 1 décembre), dont le mois de novembre est le plus pluvieux avec une moyenne de 26,7mm. Par contre, la période sèche dure 10 mois (1 décembre au 3 octobre), où le mois de juillet est le moins pluvieux avec une chute de pluie moyenne de 3,5 mm.

Par ailleurs, le niveau d'humidité moyenne annuelle perçue à Bechar au cours de ces dix dernières années varie entre 25 et 40% dont la moins élevée est enregistrée en 2020 et la plus importante en 2011 et 2014. L'humidité relative la plus élevée est mesurée au cours des mois de janvier et décembre avec une moyenne de 52,29 %, par contre l'humidité moyenne la plus basse est relevée en mois de Juillet avec une moyenne de 18%.

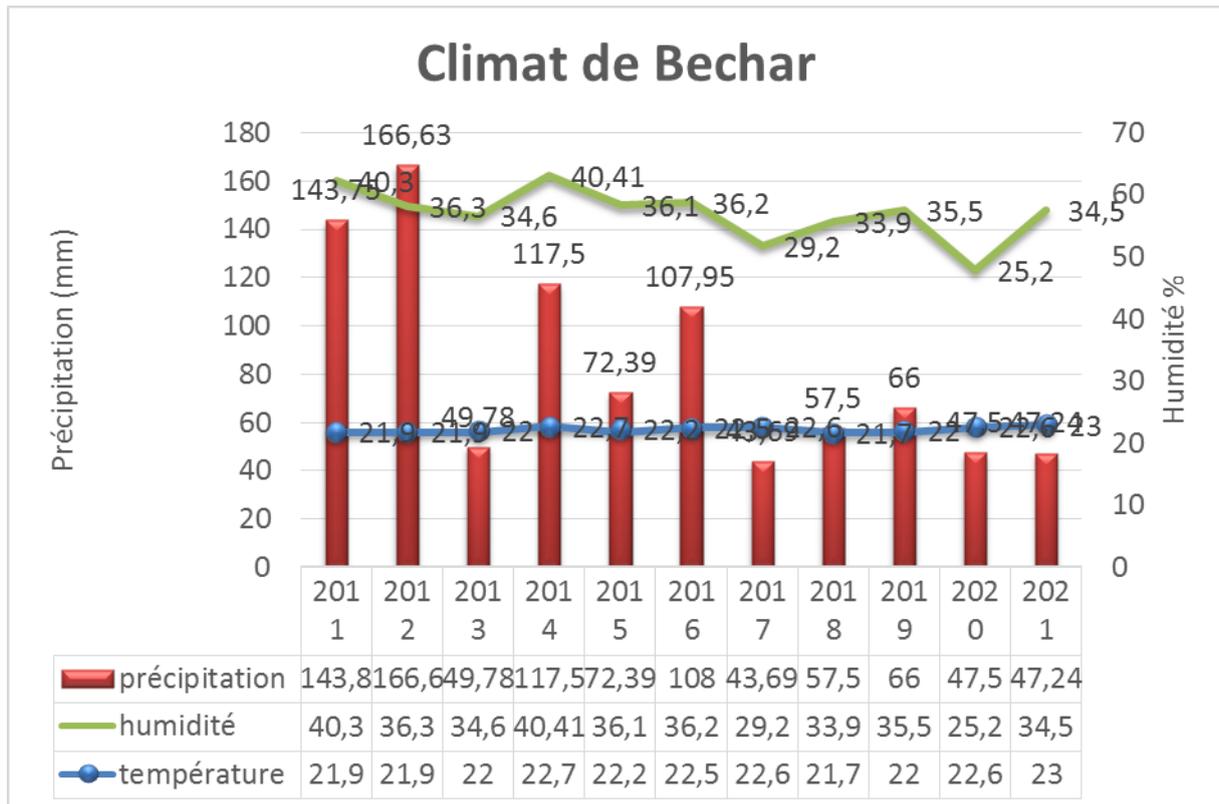


Figure 17 : graphe représente la variation climatique moyennes annuelle de la wilaya de Bechar des dix dernières années.

2. Matériels et Méthodologie de travail

2.1. Procédure d'échantillonnage de sol

Selon Schenk (1982), La récolte du sol peut être effectuée à tout moment de l'année. Nous avons réalisé notre échantillonnage de sol mycorhizosphérique de la variété Sigoise d'olivier au niveau des trois sites décrits précédemment en hivers de l'année 2021.

Dans chaque verger, 10 sujet d'olivier ont été choisies au hasard. Après avoir dégagé la litière de surface, trois endroits selon un triangle ont été creusés à une profondeur allant de 05 à 20cm au pied de chaque arbre. Par la suite, les différents échantillons de sol ont été mélangés séparément afin d'obtenir un lot représentatif pour chaque station d'étude (Figure 18).

Une partie du sol collecté de chaque station d'étude est utilisée pour l'évaluation de certains paramètres physico-chimiques et l'autre partie pour: l'estimation de la densité et la diversité des spores endomycorhizogène, l'étudier le potentiel infectieux mycorhizogène (PIM) et l'utiliser comme source d'inoculum de CMA qui s'y trouve sous forme de complexe de propagules contenant des débris de racines infectés, de spore et d'hyphe extra-racinaire.



Figure 18: Echantillonnage du sol rhizosphérique d'olivier de la variété Sigoise.

2.2. Analyses physico-chimique du sol

Les sols prélevés au niveau de chaque station d'étude, ont été séparément séchés à l'air libre et ensuite tamisés avec un tamis de 2 mm de maille pour éliminer les cailloux et les gros débris de matière organique et enfin conservés au frais.

Une partie de ces échantillons de sol collecté de chaque site d'étude, est utilisée pour l'évaluation de certains paramètres physico-chimiques à savoir ; la granulométrie, le pH, le taux du carbone (C%), le taux de la matière organique (MO%), le calcaire total, le phosphore total et l'azote total. Ces analyses ont été effectuées par le laboratoire agronomique d'Oran.

2.3. Evaluation de la densité et identification des spores des CMA

La densité et la nature des spores varient en fonction du type de culture, de sol, ainsi que les différents traitements qu'a subis ce dernier (Sieverding, 1991). Les spores et les sporocarpes des champignons endomycorhiziens arbusculaires sont présentes à l'état libre dans le sol ou attachées aux hyphes extra-racinaires. Elles ont un diamètre allant de 50 à 500 μ m et peuvent donc être séparés des fines particules de sol par tamisage humide selon Gerdemann et Nicolson (1963).

2.3.1. Technique de tamisage humide

L'extraction des spores de champignons mycorhiziens arbusculaires à partir des sols rhizosphériques de l'olivier est effectuée selon la méthode de tamisage suivis d'une centrifugation sur gradient de saccharose décrite par Giovanetti *et al.* (1991).

Cette technique consiste à mettre en suspension 100g de sol dans 1000ml d'eau distillée sous agitation vigoureusement pendant 10min. Après décantation, le mélange est filtré sur une série de tamis à mailles décroissantes (800, 200, 100, 80, 40 μ m) sous un jet d'eau de

Materiel et méthodes

robinet jusqu'à ce que l'eau qui en ressorte devient claire. Les tamisât contenant des spores sont en suspension dans l'eau distillée additionnée de saccharose à 50%, ensuite centrifugés à 5000rpm pendant 15min. Le surnagent est ensuite filtré sur le tamis de 40µm et rincer afin d'éliminer le saccharose.

Les spores et sporocarpes de chaque station sont recueillies séparément dans des boites de pétri à fond quadrillé et examinées sous la loupe stéréoscopique, puis récoltés à l'aide d'une pipette pasteur à bout effiler et montés entre lame et lamelle dans une goutte de polyvinyle-lactoglycérol (PVLG) (Annexe 2) additionnée du réactif de Melzer (V: V) (Annexe 3) (Davidson, 2016; Morton et al., 1991). Les lames ainsi préparés sont observées au microscope photonique dans le but d'identifier les espèces endomycorhiziennes.

2.3.2. Détermination de la densité sporale

Après tamisage humide du sol, la densité sporale a été estimée par comptage directe des spores récupérées dans une boite de Pétri, sous la loupe stéréoscopique (grossissement x40). Un simple calcul permet ensuite d'exprimer le résultat en nombre de spores par 100gr de sol.

2.3.3. Identification des genres de champignons endomycorhiziens

Les spores et les sporocarpes sont caractérisé et identifier par l'examinassions des différents critères morphologiques dont: la dimension, la couleur et l'ornementation des spores, l'épaisseur et le nombre de couches de la paroi sporale, le diamètre des hyphes suspenseurs, et leur mode d'attachement à la spore.

Les spores isolées intactes sont d'abord examinées au microscope photonique et ensuite prisent en photos. Après, une légère pression est exercée sur la lamelle pour briser la paroi de la spore afin de révéler et d'observer les différentes couches sporales. L'essai d'identification des spores s'est basé sur les travaux de Morton (1990), Blaszkowski (2003), Scharma *et al.*, (2008) et en se référant à la base de donnée du site de l'INVAM.

2.4. Etude du potentiel infectieux endomycorhizogènes (PIM)

Dans les systèmes agro-écologiques, il est important de déterminer le potentiel infectieux endomycorhizogènes (PIM) d'un sol qui traduit la richesse en propagule: de spores, de mycélium et de débris de racines portant des vésicules, aptes à générer la mycorhization (Dalpé). La PIM peut être évaluée quantitativement en déterminant le taux de colonisation d'un hôte mycotrophique par la méthode du nombre le plus probable (NPP) de propagules par unité de sol (Plenchette *et al.*, 1989).

Cette méthode consiste à cultiver de jeunes plants mycotrophes sur une série de concentrations de sol naturel dilué avec du sable stérile en suivant ce protocole:

2.4.1. Désinfection des graines et mises en germination

Pour réaliser cette étude, nous avons choisi la variété Saint Pierre de tomate (*Solanum Lycopersicum*) à cause de sa mycotrophie élevée. Les grains sont d'abord trempés dans

Materiel et méthodes

l'eau distillée pendant 30 min sous agitation, dans le but de briser la pression hypotonique. Ensuite, elles sont désinfectées dans une solution à 20% d'hypochlorite de sodium à 12° chlorométriques additionnée de 300ul de tween 20, pendant 15 à 20 min sous agitation. Juste après, elles sont abondamment rincées à l'eau distillée stérile. Les graines ainsi traités sont mises à germer dans des alvéoles contenant du sable stérile, ensuite arrosés avec de l'eau distillée stérile. Les alvéoles sont mis dans une serre à 25 °C et à l'obscurité jusqu'à la germination de 90 % des graines.

2.4.2. Préparation de substrat de culture

Nous avons utilisé du sable pour la dilution de l'inoculum et comme substrat de culture. Le sable est d'abord rincé abondamment à l'eau de robinet et séché à l'air libre. Après séchage, le sable est autoclavé trois fois à 120°C pendant 20 min à 24 h d'intervalle. Une semaine après l'autoclavage, les récipients contenant le substrat sont ouverts pour libérer les toxines volatiles.

2.4.3. Préparation des dilutions de sol

La technique de dilution consiste à réaliser six séries de dilution décimale de sol allant de 100 jusqu'à 10⁻⁶ à raison de cinq répétitions chacune. Pour ce faire, 10g de sol de la dilution 100 est ajoutés à 90g de sable stérile pour obtenir la dilution 10⁻¹ et on procède de la même manière pour les autres dilutions (tableau1). Les différentes dilutions de sol ainsi préparées sont mises dans les pots à raison de 100gr par pot. A la fin de cette préparation, les pots sont mis séparément dans des plateaux selon la dilution et le type de sol.

Tableau 3 : la technique de dilution du sol

Quantité de sol à ajouter	100g	10g	10g	10g	10g	10g	10g
Quantité de sable stérile	0g	90g	90g	90g	90g	90g	90g
Dilution	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶

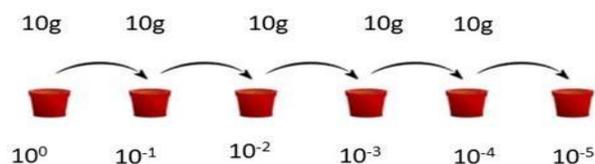


Figure 19. Technique de dilution utilisée dans la réalisation du test du nombre le plus probable (PIM)

2.4.4 Repiquage et pré inoculation des plantules par les complexes mycorhizogènes

Arriver au stade de deux feuilles, les plantules sont repiquées dans les différentes séries de pots contenant les différentes dilutions de sol préalablement préparées. Pour finir, les cultures en pot ont été placées dans une serre non climatisée et arrosés selon le besoin.

2.4.5. Coloration des racines et estimation de la PIM

2.4.5.1 Méthode de coloration de Phillips et Hayman (1970)

La méthode de coloration de Phillips et Hayman (1970) permet de visualiser les structures fongiques contenues dans les cellules corticales du système racinaire. La technique consiste à vider les cellules végétales de leur contenu cytoplasmique grâce à la solution d'hydroxyde de potassium (KOH) puis les colorer avec le bleu de trypan. Ce traitement permet d'obtenir des racines pratiquement transparentes dans lesquelles on observe les cellules corticales et le champignon coloré en bleu.

Après six semaines de culture, les plants de tomate sont déterrés et les racines soigneusement rincées à l'eau de robinet, ensuite découper en fragments et déposer dans des tubes à essai. Par la suite, ces fragments sont recouverts de KOH à 10% et les tubes sont mis dans un bain Marie à 90°C pendant 1h. Après plusieurs rinçages à l'eau distillée, les fragments sont traités avec de l'acide lactique à 10% pendant 10 minutes pour les blanchir et les acidifier. Après ce traitement, les racines sont ensuite colorées au bleu de Trypan à 0.1 % (Annexe 4) durant 1h dans un bain Marie à 90°C.

Après cette série de traitement, les fragments racinaires sont placés dans du glycérol pur ou dans du lacto-glycérol afin de diluer le colorant non fixé et empêcher le dessèchement. Quant à l'observation microscopique, les fragments sont déposés entre une lame et une lamelle, dans une goutte de lactoglycérol (acide lactique et glycérol V/V).

2.4.5.2. Estimation da la PIM et calcul du NPP

Le potentiel endomycorhizogène est évalué à partir des systèmes racinaires des plants cultivés dans les différentes dilutions de sol (de 100 au 10⁻⁶). Pour cela, les racines de chaque plant sont prélevées, traitées, colorées selon la méthode de Philips & Hayman (1970) et observées au microscope optique (X400); chaque système racinaire présentant un point d'infection a été considéré comme mycorhizé et une valeur (1) lui a été attribué et ceux qui sont exempts de toute infection prend la valeur (0).

Ensuite on dénombre pour chaque dilution le nombre de systèmes racinaires infectés et on détermine la dernière dilution (P1) ou le plus grand nombre de résultats positifs sont observés, P2 et P3 représentent le nombre de plants colonisés dans les deux dilutions successives.

Les trois valeurs P1, P2, P3 sont reportées sur la table de Cochran (1950) afin de déduire le nombre le plus probable (NPP) qui servira par la suite à déterminer la PIM exprimée par le

Materiel et méthodes

nombre de propagules par kilogramme de sol avec un intervalle de confiance de 95% ($NPP \div 3,30 < NPP < NPP \times 3,30$).

La PIM est considéré comme élevée lorsque le $NPP \geq 1500$, qui reflète un bon état biologique, du sol jugé faible lorsque le $NPP = 1500$ et enfin quand le $NPP < 1500$.

2.4.6. Effet des CMA indigènes sur la croissance des plants de tomate et estimation de la l'infection mycorhizienne

L'effet du complexe de champignons endomycorhiziens de chaque station d'étude sur la croissance des plants de tomate (*Solanum Lycopersicum*) est réalisé par l'évaluation de certains paramètres physiologiques, dont la teneur relative en eau et le dosage de la chlorophylle

Pour ce faire, les sols collectés à partir des trois stations d'étude (Sig, Bechar, Lac télamine) sont séparément utilisés comme substrat de culture composé de propagule endomycorhizien.

Les graines préalablement désinfectés sont semis dans quatre lots de pots à raison de 5 répétitions chacun, dont chaque pot contient un substrat de culture provenant des stations d'étude, à savoir:

- Lot 1: 5 pots contenant chacun 100g du sable stérile;
- Lot 2: 5 pots contenant chacun 100g de sol contenant un complexe de CMA collecté au niveau de la station de Sig;
- Lot 3: 5 pots contenant chacun 100g de sol contenant un complexe de CMA collecté au niveau de la station du Lac Télamine;
- Lot 4: 5 pots contenant chacun 100g de sol contenant un complexe de CMA collecté au niveau de la station de Bechar.

Les cultures en pots ont été placées dans une serre non contrôlée et arrosées avec de l'eau de robinet selon le besoin.

Après trois mois de culture, les plants sont déterrés. Une partie, les racines sont traitées selon la méthode de Phillips et Hyman (1970) dans le but de mettre en évidence et d'évaluer les paramètres d'infection. Par contre, l'autre partie a servi pour l'évaluation des paramètres physiologique de croissance.

2.4.6.1 Mise en évidence et évaluation de la colonisation mycorhizienne

Après 3 mois de culture, les systèmes racinaires de 3 plants de tomate sont choisis aléatoirement de chaque traitement à savoir: des plants de tomate inoculées séparément par le complexe mycorhizien collecté des sols de Sig, Lac Télamine et Bechar et un lot de plants non mycorhizés (témoin). Par la suite, les systèmes sont traités et colorés selon la méthode modifiée de Phillips et Hayman (1970), précédemment décrite. L'évaluation de l'infection racinaire est estimée par le calcul de la fréquence et de l'intensité selon la

Materiel et méthodes

méthode de Trouvelot *et al.* (1986), ce qui permet de juger l'état de la mycorhization et qui reflète également les potentialités du système symbiotique.

Après coloration, 50 fragment d'environ 1cm sont prélevés au hasard, montés entre lame et lamelle dans une goutte de glycérol et examinés au microscope photonique.

2.4.6.2. Fréquence de la mycorhization (F%)

La fréquence de l'infection représente le pourcentage de fragments racinaires endomycorhizés. Une racine est considérée comme infectée par les des champignons endomycorhiziens lorsque l'une des structures caractéristiques des CMA (hyphes intra-racinaires, vésicules et arbuscules est observé. Des hyphes, des vésicules ou des arbuscules sont observés.

La fréquence est calculée selon la formule suivante :

Où:
$$F (\%) = (N/N_0)100$$

F= fréquence de mycorhization

N= nombre de fragment observés

N₀ = nombre des fragments mycorhizés

2.4.6.3. Intensité de la mycorhization du cortex (M%)

L'intensité représente la proportion du cortex racinaire colonisé par rapport au système racinaire entier, exprimée en % et elle reflète l'importance de la colonisation du système racinaire.

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

n_5, n_4, \dots, n_1 désignent respectivement les nombres de fragments notés de 5, 4, ..., 1.

N= nombre de fragment observé.

2.5.Mesure des paramètres physiologiques

2.5.1Teneur relative en eau (TREF)

La teneur relative en eau est déterminée selon la méthode de Barrs et Weatherly (1968) et Scippa *et al.* (2004). Les feuilles (à raison de 5 par traitement et par répétition) sont coupées à la base du limbe et immédiatement pesées individuellement et leur poids frais (PF) est enregistré. Elles sont ensuite immergées dans des tubes à essai remplis d'eau distillée pendant 24h. Ensuite, les feuilles sont retirées des tubes et délicatement essuyées avec du papier absorbant pour éliminer l'eau de surface et de nouveau pesées pour

Materiel et méthodes

déterminer le poids après réhydrations maximale qui correspond au poids en plein turgescence (PT). Par la suite, les feuilles ont été mises à sécher dans une étuve à 60°C pendant 72h et enfin le poids sec (PS) est relevé. Après pesage de ces différents poids, la teneur relative en eau des feuilles est calculée selon la formule suivante:

$$\text{TREF}(\%) = [(PF-PS) / (PT-PS)]$$

ou:

TREF : teneur relative en eau foliaire (%).

PF: poids de la matière foliaire fraîche (mg).

PS: poids de la matière foliaire sèche (mg).

PT: poids de la matière foliaire turgide (mg).

2.5.2. Dosage de la chlorophylle

La teneur en chlorophylles est déterminée selon la méthode de Navarro-Redenas *et al.* (2012). Cette technique consiste à macérer 50 mg de limbe foliaire fraîche dans 5 ml d'acétone (80%) à froid puis broyées soigneusement dans un mortier. Après broyage total, les extraits sont centrifugés à 4000 tours/min pendant 15 min. Les surnageant sont transférés dans des tubes à essai recouverts de papier aluminium pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière.

L'absorbance (A) est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 470,646 et 663 nm après étalonnage avec de l'acétone à 80%. Les teneurs en pigments, exprimées en mg/g de matière fraîche, sont calculées en utilisant les équations proposées par Lichtenthaler (1987):

- Chlorophylle total (Chl t) = $(18.72 \cdot A_{646}) + (7.15 \cdot A_{663})$;
- Chlorophylle a (Chl a) = $(12.25 \cdot A_{663}) - (2.798 \cdot A_{646})$;
- Chlorophylle b (Chl b) = $(21.5 \cdot A_{646}) - (5.1 \cdot A_{663})$;
- Caroténoïdes = $(1000 \cdot A_{470}) - [(1.82 \cdot \text{Chlorophylle a}) - (85.02 \cdot \text{Chlorophylle b})] / 198$.

Résultats et discussions

Selon Plenchette *et al.* (2005), la mycorhization est un phénomène naturel présent dans tous les types de sols et de climats. C'est dans cette perspective que s'inscrit une partie de notre travail qui est basée sur :

- L'étude des paramètres climatiques dont les analyses des données sont citées dans le chapitre matériel et méthodes ;
- Et les analyses de certains paramètres physico-chimiques des sols rhizosphériques à la variété Sigoise d'olivier collectés au niveau des trois stations d'étude.

1. Analyses physico-chimiques des sols

1.1 Analyse physique (Granulométrie)

Les analyses granulométriques des sols rhizosphériques à la variété Sigoise d'olivier collectés au niveau des trois stations d'étude à savoir, Sig et le Lac Télamine qui sont localisés à l'ouest Algérien et Bechar situé au sud-ouest Algérien, montrent des proportions considérablement variables qui permettent de suggérer que l'ensemble des caractéristiques pédologiques des trois sols sont différentes.

En ce qui concerne le sol de la station de Sig, les analyses ont montrées que le pourcentage du sable est de 56% alors que le limon et l'argile est respectivement de 24 et 20%, ceux qui révèle que le sol de cette région a une texture sablo-limoneuse-argileuse avec une prédominance du sable (Tableau 4). Par ailleurs, des résultats identiques ont été enregistrés par les travaux de Saad (2009) et Sidhoum (2011).

Par contre, l'analyse du sol de la station du Lac Télamine a révélé un pourcentage de sable de 80%, le limon de 12% par contre l'argile est sensiblement faible avec un pourcentage de 8%. En conséquence, ces pourcentages révèlent que le sol a une texture sablo-limoneuse dont de sable est fortement dominant.

Par ailleurs, la station de Bechar, le pourcentage du sable est dominant avec une proportion de 96% par rapport à la fraction argileuse limoneuse dont le pourcentage est négligeable de 2% chacun ce qui montre que la texture du sol est sablonneuse.

La texture ou la distribution de la taille des particules, affecte de nombreuses propriétés du sol telles que la structure, la porosité, la capacité de rétention en eau, et la capacité d'échange de cations, ce qui influe sur la présence des CMA (Chaudhary *et al.*, 2008, Revaillet *et al.*, 2021). Il a été également démontré par certains auteurs qu'en général, les sols qui comptent un pourcentage élevé de sable ont une bonne porosité, mais leur capacité de rétention en eau est faible (Halilat et Tessier, 1997; Revaillet *et al.*, 2021).

Toutefois, certains auteurs considèrent les champignons mycorhiziens comme des ingénieurs du sol, en particulier dans la productivité et la stabilité des sols et des écosystèmes (Duponnois *et al.*, 2013; Sahri *et al.*, 2020). Par ailleurs, d'autres auteurs ont démontré que le développement du mycélium extra-matriciel des MA influence

Résultats et discussions

significativement sur la stabilité structurale des sols et cela à travers la production d'une glycoprotéine appelée Glomaline, qui favorise l'agrégation des particules texturales du sol (Caravaca *et al.*, 2002; Duponnois *et al.*, 2013). En conséquence, leur présence est considérée comme un indicateur de la qualité des sols (Viaux *et al.*, 2002

Tableau N° 4: caractéristique granulométrique du sol des trois stations d'études.

Station d'études	Sable	Limon	Argile
Sig	56	24	20
Lac Télamin	80	12	8
Bechar	96	2	2

1.2Analyse chimique des sols

Les analyses chimiques ont révélés que les sols des trois sites prospectés, à savoir: les stations de Sig, du Lac Télamin et de Bechar, sont caractérisées par un pH alcalin. Par contre, les autres paramètres analysés présentent des différences entre les trois sites (tableau 5). La conductivité électrique de la solution aqueuse des trois sols est faible allant de 0,29 à 0,51 mS/cm. Selon l'échelle de Herrmann (1980), des valeurs inférieurs aux deux millisiemens par centimètre montrent que les sols sont pauvres en sel.

Les analyses de calcaire actif (CaCO_3) varient entre les trois stations qui sont de: 21,35% pour celle de Sig. 15,75% pour le Lac Télamin et de 2,73% pour Bechar. Selon Calvet et Villemin (1986), un sol contenant plus de 60% de calcaire actif est considéré comme un sol calcaire, donc nos résultats montrent que les sols des stations de Sig et Lac Télamin sont modérément calcaire tandis que, celle de Bechar est non calcaire

En ce qui concerne la matière organique est respectivement de 7,044% et 9,153% pour la station du Lac Télamin et Sig, par contre elle est de 1,548% pour celle de Bechar. Selon Matthieu A. (2011), un sol ayant un pourcentage de matière organique supérieur à 5% est considéré comme un sol en bon état, ce qui indique que les sols de la station de Sig et du Lac Télamin sont riches en matière organique. Tandis que, le sol de la station de Bechar est considéré comme pauvre en matière organique.

Les pourcentages de l'azote total et le phosphore montrent que les sols des trois stations d'études sont moyennement pauvres pour ces deux éléments qui varient de 0,01% à 0,312% pour l'azote et de 0,219ppm à 1,433ppm pour le phosphore. La norme de Landon 1984 est souvent utilisée pour l'estimation générale et interprétation du phosphore disponible en ppm, Des résultats analogues concernant ces sites d'étude ont été mentionnés par Saad 2009; Sidhoum 2011; Aibache, 2021).

Résultats et discussions

D'après Green *et al.* (1967), la disponibilité des éléments minéraux et l'activité microbienne dépendent fortement des conditions physico-chimiques du sol en particulier en pH. En effet, la distribution des CMA est influencée par le pH du sol. En conséquence, le taux de germination des spores de CMA diminue dans les sols à pH inférieur à 5,5 et supérieur à 6,5 (Gunasekaran, 1987), entraînant ainsi une diminution du potentiel infectieux des CMA et de leur performance. Coughlan *et al.* (2000) affirment que la colonisation mycorhizienne est plus élevée dans des sols où le pH est modéré. Ils ont également démontré une corrélation positive du pH avec la qualité et la quantité de la colonisation intra-racinaire. Ils ont affirmé que la colonisation mycorhizienne est élevée pour un pH situé entre 5 et 7. D'autre part, certains auteurs ont signalé que la production de certaines espèces de champignons AM sont limitées aux sols acides ou alcalins; d'autres dans les deux (Young *et al.*, 1985; Porter *et al.*, 1978; Robson et Abbott 1989).

Dalpé (1997) a démontré que la température, le pH, le taux d'humidité ainsi que la disponibilité du phosphore du sol, affectent considérablement le développement de mycorhizes. La faiblesse de l'infection observée ($M < 40\%$) dans certains cas pourrait s'expliquer par la pauvreté des sols en éléments chimiques principalement en N, P, K (Diagne & Ingleby, 2003) car l'efficacité de la mycorhization dépend des caractéristiques chimiques du sol (Pons et Gianinazzi-Pearson, 1984).

Tableau 5: caractéristique physico-chimiques du sol des trois stations d'études

Stations d'études	PH	Conductivité (ms/cm)	Azote% Totale	Phosphore (ppm)	Matière organique%	Caco3 %
Sig	8,19	0,29	0,291	0,3673	F 7,044	21,35
Lac Telamin	8,46	0,51	0,312	1,433	F 9,153	15,75
Bechar	8,33	1,18	<0,01	0,219	F 1,548	2,73

2. La densité et la diversité des CMA dans les sols rhizosphériques à l'olivier

2.1 La densité des spores des champignons endomycorhiziens

Yameogo (2009) a rapporté que la richesse des sols en spores est un moyen le plus direct et efficace pour mesurer la diversité et la richesse en champignons MA. De ce fait, les spores demeurent les seules structures attestant la présence des CMA au champ.

La densité des spores collectées des sols rhizosphériques de l'olivier par la technique du tamisage humide est rapportée dans la **(figure 22)**.

D'après les résultats illustrés sur le diagramme circulaire, les densités des spores varient de 1835 à 5107 dans 100g de sol. Le sol de la station de Lac Télamine dont le climat est humide, affiche la densité sporale la plus élevée. Elle est deux fois plus élevée par rapport à

la densité sporale du sol de Bechar (climat aride) et de trois fois plus élevé que celui de la station de Sig (climat semi-aride), dont les densités sont respectivement de 5107, 2871 et 1835 spores/100gr de sol. Néanmoins, malgré cette différence importante, les densités des spores dans les trois sites restent élevées révélant la richesse des sols en spores. Nos résultats sont en accord avec ceux de Raquena et al (1996), Meddad (2010), Mekahlia (2014) et Lazouni (2018) qui ont signalé que le nombre de spores est plus important dans les sols des zones humide par rapport à celles des zones aride et semi arides.

Par ailleurs, certains auteurs ont signalé que la densité des spores des CMA isolées de sol rhizosphérique de l'olivier en zone aride est plus importante par rapport à celle des zones semi-aride. D'après nos résultats, nous avons constaté que le nombre de spores collectées au niveau de la station de Bechar est plus important par rapport à celui de Sig (climat semi-aride) et qui concorde avec les résultats obtenus par Ce résultat confirme ceux obtenus par Requena *et al.* (1996), McGee (1989) et Sidhoum (2011), qui ont trouvé que le nombre de spores était moins important sous les climats semi-aride et aride.

Mangan *et al* (2004), Tae et Zhiwei (2005), ont signalé que la différence de la densité des spores des CMA est liée à leur adaptation aux écosystèmes. Par ailleurs, d'autres auteurs ont mentionné que plusieurs facteurs peuvent influencer sur l'estimation du nombre de propagules de CMA à savoir; les conditions de l'expérience et la température Wilson et Trinick (1983).

Certaines recherches ont montré que les sols riches en matière organique ont tendance à avoir plus de spores où le genre *Glomus* est parmi les espèces les plus fréquemment trouvées (Uhlmann *et al.*, 2006). Cela explique la densité sporale élevée relevé au niveau de la station du Lac Téalamin dont le sol est riche en matière organique.

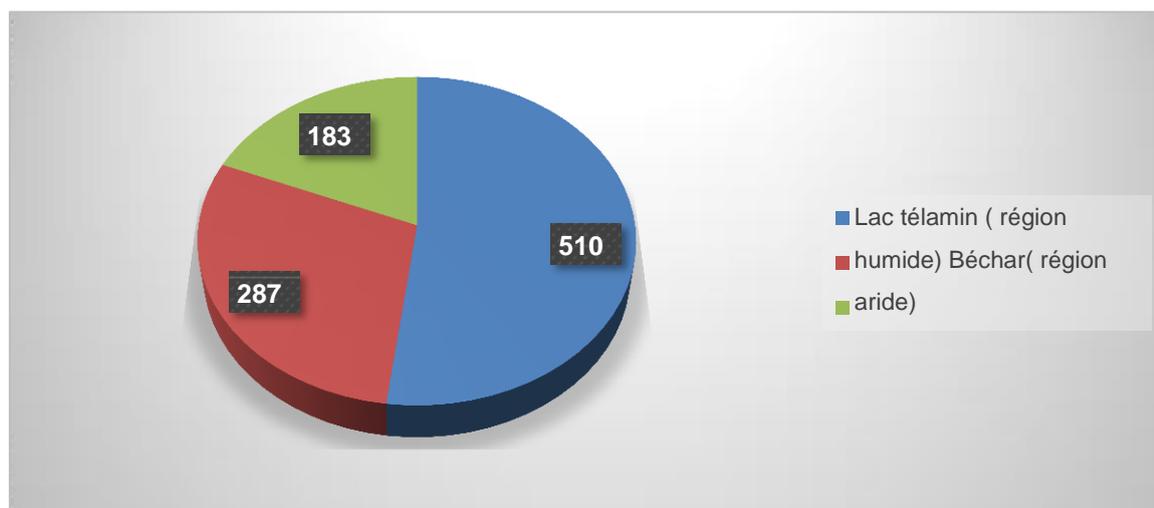


Figure 20: diagramme circulaire présente la densité sporale des trois stations d'étude.

2.2 Diversité des CMA dans le sol rhizosphérique de l'olivier

Les observations microscopiques des spores, collectées par tamisage humide à partir des sols rhizosphériques de l'olivier (*Olea europaea L.*), des trois stations d'étude, révèlent l'existence d'un nombre important de spores de divers morphotypes, dont les dimensions

Résultats et discussions

sont comprises généralement entre 40µm et 500µm. On a observé différentes formes de spores telles que la forme irrégulière, sphérique, ovoïde et légèrement allongé, de couleurs variables (blanc-crème, vert clair, jaune pâle, orange, du marron clair au foncé). Certaines spores sont portées par un suspenseur de forme et de dimension variables (Planche 1,2,3).

A partir des observations microscopiques, on a pu identifier certaines espèces appartenant aux genres *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora* et *Entrophospora*, dont les genres *Glomus* et *Acaulospora* sont dominant dans les trois stations en nombre et en morphotypes. Li et Zhao (2005) et Gay *et al.* (2006) ont signalé que les espèces de *Glomus* sont réparties dans différentes parties du monde et dominant les communautés dans les zones arides, semi-arides et tempérées.

Les différents genres rencontrés dans ces stations sont intimement liés à la rhizosphère de l'olivier et aux différents étages bioclimatiques Algérien. Selon Requena *et al.* (1996), les populations en champignons endomycorhiziens arbusculaires forment une communauté caractéristique de la rhizosphère oléicole quel que soit le type de sol et le climat. Nos résultats concordent avec ceux de Mekahlia *et al.* (2013) et Beddiar *et al.* (2017) qui ont signalé une diversité des CMA qui sont pratiquement identique à celle collecté de la rhizosphère de la variété Sigoise d'olivier dans les trois stations étudiées.

Par ailleurs, Chaudhary *et al.* (2008) ont mentionné que des facteurs abiotiques et biotiques externes tels que les précipitations, la température et les caractéristiques édaphiques, les propriétés intrinsèques des CMA ainsi que leurs interactions les uns avec les autres, influencent indirectement sur la distribution géographique des CMA. Les facteurs abiotiques peuvent influencer directement sur les plantes qui sont considérées comme l'habitat obligatoire des CMA ce qui va influencer par conséquent sur la capacité du champignon à coloniser et à exister dans un lieu donné.

L'identification basée sur les caractéristiques morphologiques reste une tâche difficile à réaliser à cause de la similitude étroite entre les différents genres, pour cela notre essai de caractérisation reste préliminaire.

2.2.1. Les spores isolées à partir du sol rhizosphérique de la station de Sig

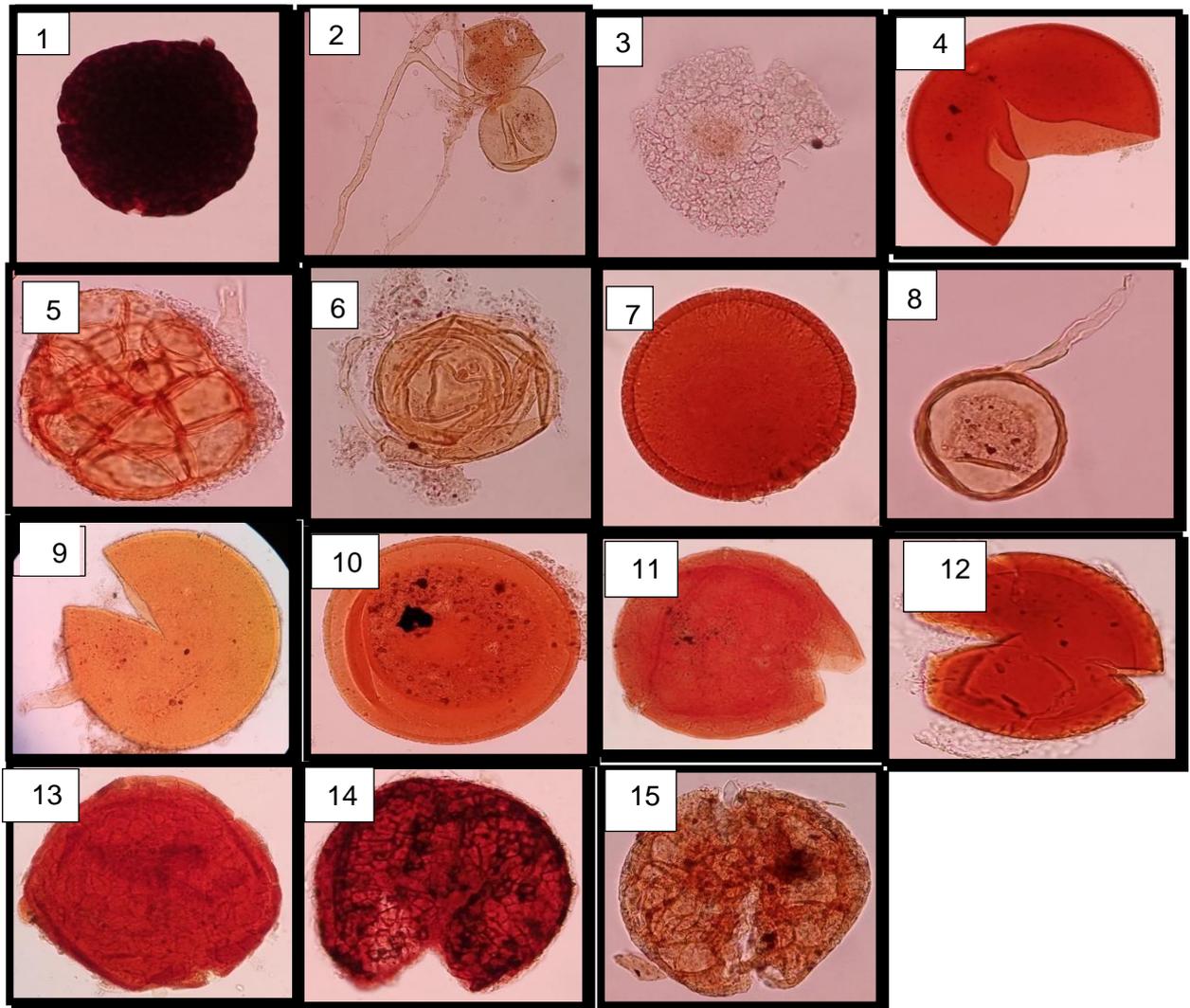


Planche 1: les différents morphotypes de glomyromycota présentent dans le sol de Sig 1) *Scutellospora sp.* 2) *Glomus sp.* 3) *Acaulospora sp.* 4) *Racocetra sp.* 5) *Entrophospora sp.* 6) *Acaulospora sp.* 7) *Glomus sp.* 8) Morphotype 1. 9) Morphotype 2. 10) Morphotype 3. 11) Morphotype 4. 12) Morphotype 5. 13) Morphotype 6. 14) Morphotype 7. 15) Morphotype 8.

2.2.2. Les spores isolées à partir de sol rhizosphérique de la station de Lac Télémin

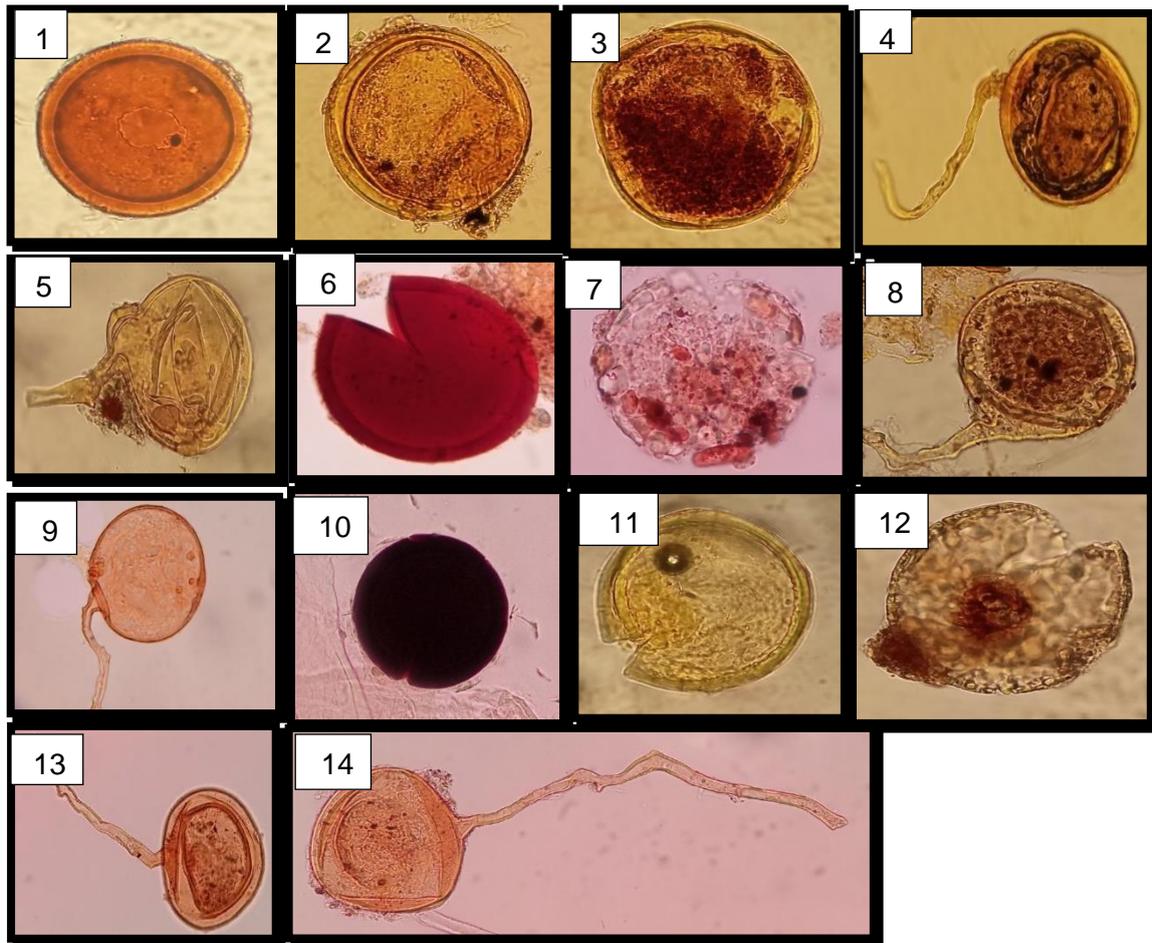


Planche 2 : les différents morphotypes de glomyromycota présentés dans le sol de Lac Télémin. 1) *Glomus* sp. 2) *Glomus* sp. 3) *Glomus* sp. 4) *Glomus* sp. 5) *Glomus* sp. 6) *Scutellospora* sp. 7) *Archeospora* sp. 8) *Glomus* sp. 9) *Glomus* sp. 10) *Scutellospora* sp. 11) *Acaulospora* sp. 12) *Acaulospora* sp ; 13) *Glomus* sp. 14) *Glomus* sp.

2.2.3. Les spores isolées à partir de sol rhizosphérique d'olivier de la station de Bechar

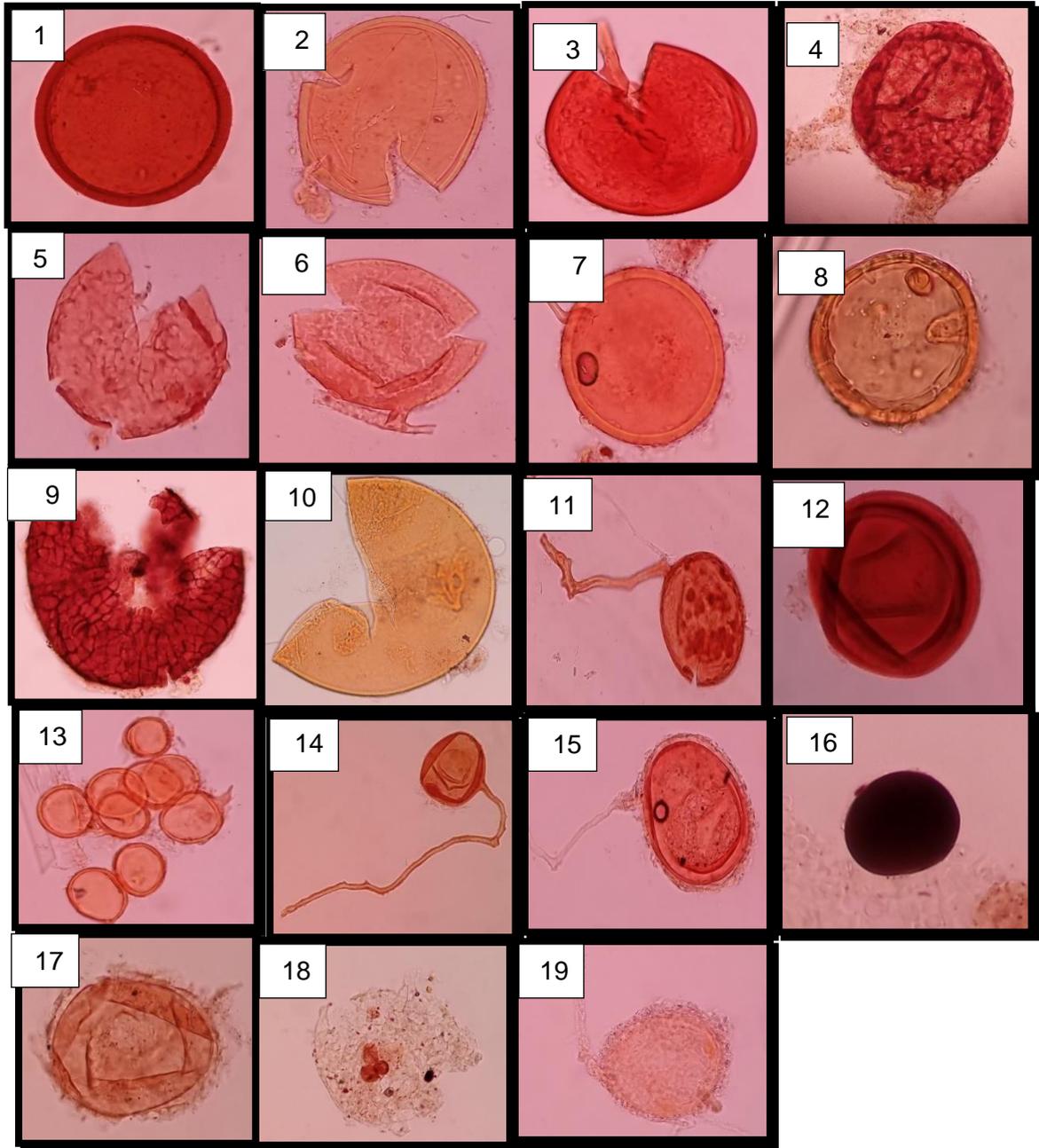


Planche 3: les différents morphotypes de glomyromycota présentés dans le sol de Bechar. 1) *Glomus* sp. 2) *glomus* sp. 3) *Glomus* sp. 4) *Acaulospora* sp. 5) *Acaulospora* sp. 6) *Glomus* sp. 7) *Glomus* sp. 8) *Glomus* sp. 9) *Acaulospora* sp. 10) *Acaulospora* sp. 11) *Glomus* sp. 12) *scutellospora* sp. 13) *Glomus* sp. 14) *Glomus* sp. 15) *Glomus* sp. 16) *Scutellospora* sp. 17) *Glomus* sp. 18) morphotype 1. 19) Morphotype.

3. Potentiel infectieux des endomycorhizes du sol (PIM)

Le potentiel infectieux mycorrhizogène traduit la richesse d'un sol en propagules infectives présentent sous forme de spores, mycélium, fragments de racines colonisées. Le nombre le plus probable (MPN) est calculé par la méthode d'Alexander (1965) adaptée aux champignons MA par Poter (1979), suivant la table de Cochran (1950) puis exprimé par Kg de sol. Cette méthode permet d'estimer l'infectivité des CMA en évaluant toutes les propagules infectieuses dans un sol (Morton, 1985).

À l'aide de la table de Cochran (1950), le nombre le plus probable (NPP) de propagules présentes dans chaque sol a été calculé à partir des racines coloniser (**figure 23**). Les résultats obtenus révèlent que le NPP des propagules infectives dans les étages humide (Lac Télémine) et semi-aride (Sig) est plus élevée dont le NPP est égale à 49000 propagules par Kg pour les deux sol, comparant à celui de l'étage aride (Bechar) dont le NPP est de 18000 propagules par Kg de sol, avec un intervalle de confiance à 95% de 0,63 à 6,93. Ces résultats rejoignent ceux de Beddiar *et al.* (2017). D'après Alvarez *et al.* (2002), le PIM est considéré comme élevé lorsque le NPP est supérieur à 1500 ce qui reflète un bon état biologique du sol. Par conséquence, les PIM estimées, révèlent la richesse en propagules de CMA infectivent indiquant ainsi un bon état biologique de ces sols. Nos résultats rejoignent ceux de Saad (2009) et Sidhoum (2011) qui ont montré la richesse de ces mêmes sols en propagules viables. Toutefois, Wilson et Trinick (1983) ont mentionné que plusieurs facteurs peuvent influencer sur l'estimation du nombre de propagules de CMA à savoir; les conditions de l'expérience, la température et le temps de récolte qui peuvent changer le résultat en raison de leurs effets sur la croissance des racines et des propagules, et donc sur leur interception.

Des travaux antérieurs ont montré également que le potentiel infectieux des champignons mycorhiziens arbusculaires est plus élevé dans les sols pauvres en phosphores Brundrett et Abbott (2002). Ceci est en accord avec nos résultats, dont les analyses chimiques de nos sols ont révélé un taux faible en Phosphores et azote, ce qui explique des valeurs élevées du PIM des trois sols.



Figure 21: les dilutions de pouvoir endomycorhizogène des trois stations d'études

4. Estimation et mise en évidence de l'infection endomycorhizienne chez la tomate

La colonisation mycorhizienne se manifeste par la présence des différentes structures caractéristiques des endomycorhizes à savoir, l'existence d'un réseau d'hyphes intra et intercellulaires, des points d'entrée des champignons dans la racine mais aussi la présence des arbuscules, de plusieurs vésicules intra et intercellulaires et de spores. En plus de ça, la colonisation par les CMA est estimée par une fréquence (**F%**) et une intensité (**M%**) de mycorhization

Par ailleurs, l'estimation de la mycorhization après un examen microscopique des systèmes racinaires des plants de tomate inoculés par les différents sols, sous conditions contrôlées, a révélé également une forte colonisation par les champignons endomycorhiziens arbusculaires, et cela quel que soit la situation géographique des sites et les paramètres pédoclimatique, comparant aux témoins non inoculé qui ne présentent aucune structure qui révèle une infection mycorhizienne.

En outre, la colonisation s'est traduite par une fréquence (**F%**) et une intensité de mycorhization (**M%**) élevées après seulement 3 mois de culture et quel que soit le traitement. Ceci reflète la nature mycotrophique de cette plante. Ces résultats rejoignent ceux de Caravaca *et al.* (2003a), Daplé (2006), de Binet *et al.* (2007) Julianus *et al.*, (2020).

Les fréquences et les taux d'infection mycorhizienne du système racinaire des plants inoculés par les propagules contenues dans les sols de Sig, du Lac Télamine et de Bechar sont respectivement de (F=89%, M=60%), de (F=95%, M=72,88%) et de (F=91%, M=69%) (**figure 24**). Dans l'ensemble, ces différents taux sont élevés avec une légère différence entre les trois traitements. Mais reste à signaler une faible élévation des pourcentages pour le Lac Télamine. Par ailleurs, ces résultats montrent que les CMA ont une distribution géographique très large (Öpik *et al.*, 2006) et la plupart des espèces végétales du milieu méditerranéen sont mycorhizées (Requena *et al.*, 1996; Maremmani *et al.*, 2003; Ferrol *et al.*, 2004).

Résultats et discussions

De nombreux travaux laissent apparaître que les plantes cultivées dans les écosystèmes semi-arides et arides sont plus dépendantes des champignons endomycorhiziens (Stutz *et al.*, 2000; Wubet *et al.*, 2003; tao et Zhiwei, 2005). Boullard (1968) rapporte que l'abondance des mycorhizes au niveau d'un système racinaire dépend de nombreux facteurs tels que l'âge de l'hôte, les propriétés physico-chimiques des sols et du symbiote. Ceci est confirmé par l'écologie des mycorhizes qui montre que la colonisation des systèmes racinaires par les champignons mycorhiziens ainsi que la production des spores et de mycélium augmentent lorsque la fertilisation est faible ou nulle (Tedersoo *et al.*, 2020).

Dai *et al.* (2014) ont démontré qu'un système biologique avec deux fois moins de phosphore dans le sol avait un taux de mycorhization plus de deux fois supérieur dans le système racinaire du blé. De ce fait, lorsque la ressource phosphatée est faible, la plante va investir davantage dans les CMA afin d'améliorer l'accès à cette ressource, ce qui se traduit par une mycorhization importante (Fortin *et al.*, 2008; Garbaye, 2013).

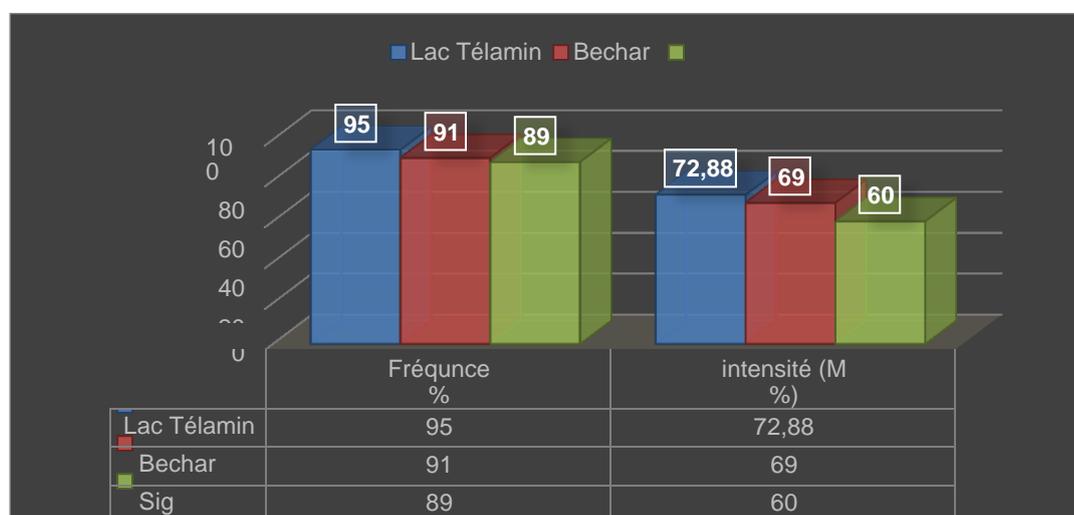


Figure 22 : histogramme de l'estimation des paramètres d'infection mycorhizienne de tomate. F : fréquence de mycorhization : M : intensité de mycorhization du cortex.

4.1. Mise en évidence des structures endomycorhiziennes

Les observations microscopiques des fragments racinaires de tomate inoculés par les CMA, révèle la présence des différentes structures caractéristiques des CMA à savoir: des hyphes extra et intra-racinaires, des arbuscules, des vésicules et des enroulements.

4.1.1. Les hyphes

Les hyphes intra-racinaires sont ramifiés et s'étendent surtout au niveau du parenchyme cortical. Nous avons observé des hyphes avec différentes voies de cheminement: la voie intracellulaire et la voie intercellulaire (**Figure 25**). Nous avons aussi observé des hyphes réduits dans l'espace intercellulaire formant à leur extrémité des vésicules. Ces résultats rejoignent ceux de Sidhoum (2011), dont les mêmes structures ont été observées dans les racines d'olivier cultivés dans les sols des mêmes stations où nous avons réalisé notre étude et dont le sol a servi comme inoculum pour inoculation des plantules de tomate.

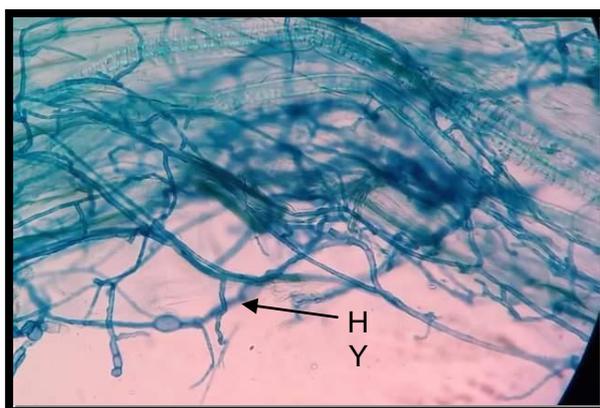


Figure 23: Hyphes d'un champignons endomycorhiziens au grossissement $\times 400$

4.1.2. Les arbuscules

Les observations microscopiques des racines de la tomate révèlent la présence d'arbuscules à différents stades de l'évolution à l'intérieur des cellules corticales (**Figure 26**). Elles représentent l'éléments clé de la symbiose mycorhizienne arbusculaire, considérées comme la forme extrême de l'intimité qui sert au transfert des éléments nutritifs entre les deux partenaires (Hughes *et al.*, 2008). Ces observations ont également permis d'identifier les arbuscules de types *Paris* et *Arum*.



Figure 24 : endomycorhize montrant des arbuscules au grossissement $\times 400$

4.1.3. Les vésicules

Le système racinaire de la tomate inoculé montre de nombreuses vésicules de différentes formes: rondes, lobées, irrégulières et fortement colorées au bleu de Trypan. Il est connu que les vésicules se forment seulement chez les genres appartenant aux Acaulosporacées, Gloméracées et pacisporacées (Zubek *et al.*, 2008). Par ailleurs, divers genres appartenant aux champignons MA forment dans les racines des vésicules qui sont des structures riches en gouttelettes lipidiques qui jouent le rôle d'organe de réserve mais au même de

propagule qui peuvent être similaires structurellement et fonctionnellement aux spores dans certaines espèces (Brundrett, 1999) (**Figure 27**).

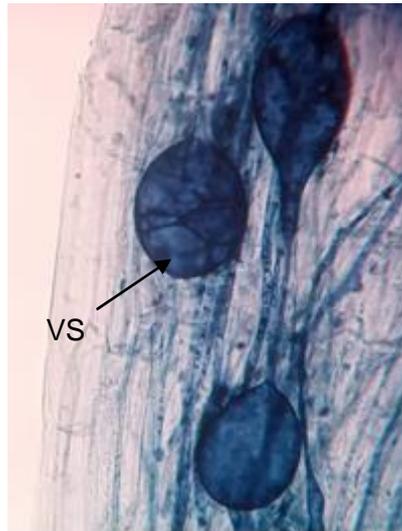


Figure 25 : vésicules des champignons endomycorhiziens sous microscope au grossissement $\times 100$.

4.1.4. Les endophytes

Nous avons également observé la présence dans les racinaires de tomate des endophytes (**figure 28**). Rodriguez *et al.*, (2009) ont révélé que plusieurs espèces de plantes fourragères et herbacées économiquement importantes sont colonisées par des champignons endophytes ce qui améliore notamment la capacité de ces plantes à tolérer des stress abiotiques.

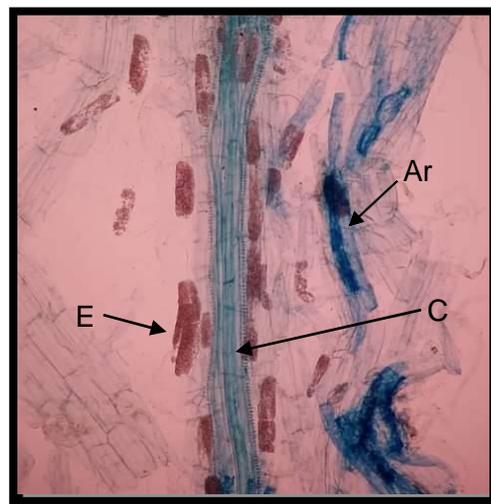


Figure 26 : des endophytes observés sous microscope au grossissement $\times 400$.

5. Effet des CMA sur les paramètres physiologiques chez les plants de tomate

La réponse des plantes à la mycorhization est en fonction de l'espèce de champignon mycorhizien (Plenchette *et al.*, 1982) et de l'espèce de plante hôte dont la dépendance mycorhizienne est liée principalement, à la fertilité du sol et à la morphologie du système

racinaire ((Plenchette *et al.*, 1983; Baylis, 1975). Les mycorhizes stimulent généralement la croissance des plantes, en particulier dans des sols où la disponibilité en éléments minéraux est faible ou nulle. Ceci est confirmé par l'augmentation de la colonisation des systèmes racinaires ainsi que la production des spores (Gobat *et al.*, 2003; Larnbers *et al.*, 2008)

5.1. Dosage de la chlorophylle :

5.1.1 Dosage de la chlorophylle totale

D'après la (**figure 29**) les résultats révèlent que la teneur de la chlorophylle totale est plus élevée chez les plants de tomate inoculés comparant aux plants témoins non inoculés. Ce résultat montre que les CMA ont un effet positif sur la teneur de la chlorophylle totale.

On constate également que la teneur de la chlorophylle totale chez les plants inoculés par le sol de Bechar est plus élevée par rapport à celles du Lac Télamine et de Sig dont les valeurs sont respectivement de 24,54 μ g/g de MF, de 15,10 μ g/g de MF et de 12,01 μ g/g de MF. Par contre, la teneur de la chlorophylle totale chez les plants témoins est considérablement faible de 3,11 μ g/g de MF.

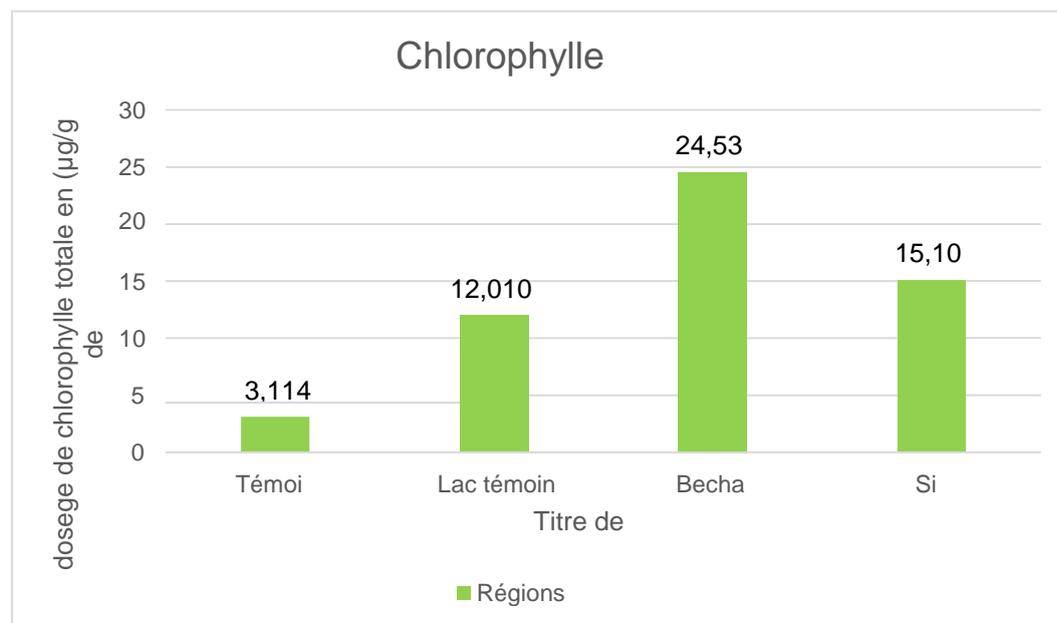


Figure 27 : histogramme représente la chlorophylle totale.

5.1.2. La teneur de la chlorophylle a

Les résultats représentés par la (**figure 30**) montrent que les teneurs en chlorophylle **a** chez les plants inoculés par les sols de Bechar, Lac Télamine et Sig sont plus importante par rapport au témoin non mycorhizé.

Ce résultat montre également que la teneur de la chlorophylle **a** relevée chez les plants infectés par les propagules contenues dans le sol de Bechar est plus élevée par rapport à celles du Lac Télamine et Sig qui sont respectivement de 4,80 μ g/g de MF, de 2,69 μ g/g de MF et de 0,88 μ g/g de MF. La teneur de cette chlorophylle est plus faible chez les plants

Résultats et discussions

témoin non inocuées qui est de $0,73\mu\text{g/g}$ de MF, ce qui révèle également l'effet positif des CMA sur la teneur de la chlorophylle a.

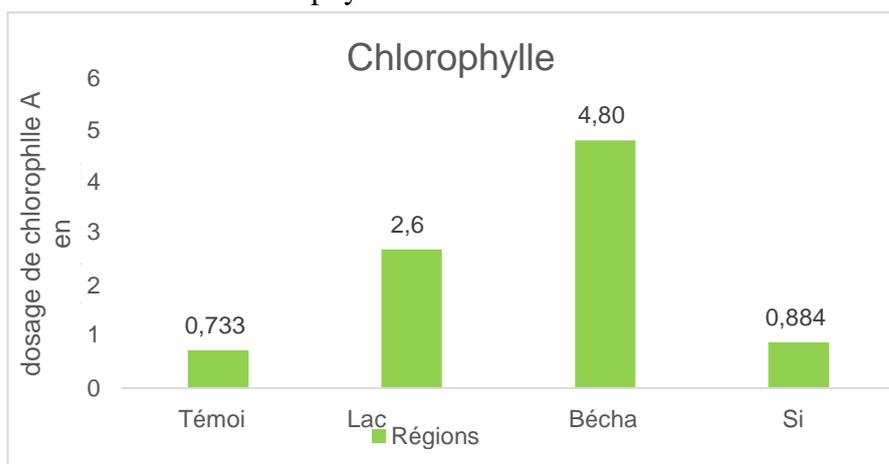


Figure28 : histogramme représente la chlorophylle a.

5.1.3. La teneur de la chlorophylle b

Les résultats présentés dans la (figure 31) montrent que la teneur en chlorophylle **b** chez les plants inocués par le sol de Bechar est plus importante par rapport aux plants inocués par les inocula des stations du Lac Télamin et de Sig qui sont respectivement de $19,72\mu\text{g/g}$ MF, de $14,21\mu\text{g/g}$ de MF et de $9,33\mu\text{g/g}$ de MF. Par contre, des plants témoins non inocués présentent la teneur la plus faible de $2,19\mu\text{g/g}$ de MF.

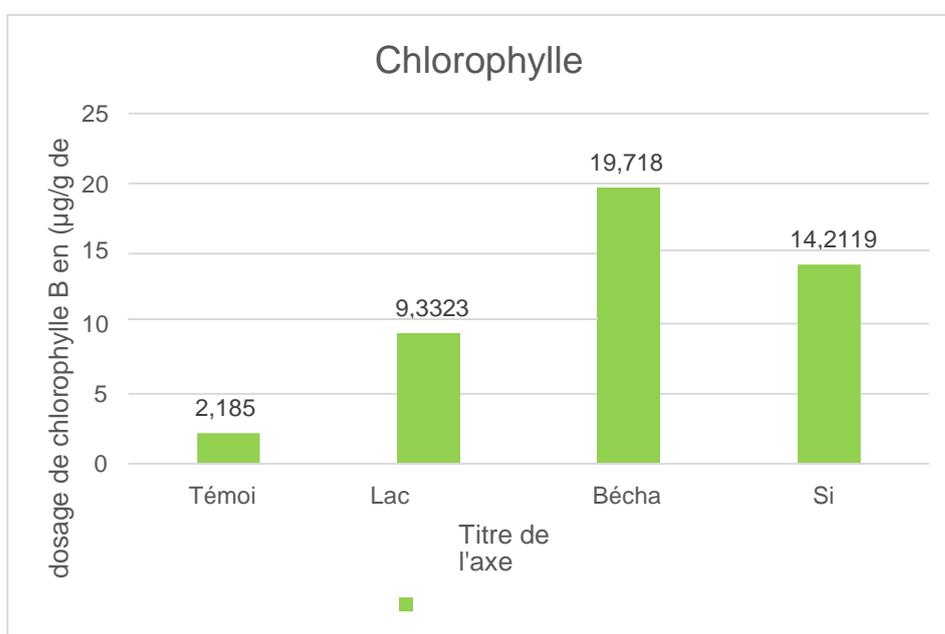


Figure29 : histogramme représente la chlorophylle b.

5.1.4. La teneur des caroténoïdes

Les résultats présentés par la (figure 32) montrent une teneur en caroténoïdes élevée de $482,42\mu\text{g/g}$ de MF et $478,98\mu\text{g/g}$ de MF chez les plants inocués par les CMA contenus

Résultats et discussions

dans le sol de Bechar et du Lac Télamin par rapport aux celle d'inoculum de Sig qui est inférieure avec une teneur de 329,09 μ g/g de MF.

Par ailleurs les plantes témoin non inoculées révèlent une teneur en caroténoïdes la plus faible d'une valeur de 152,93 μ g/g de MF.

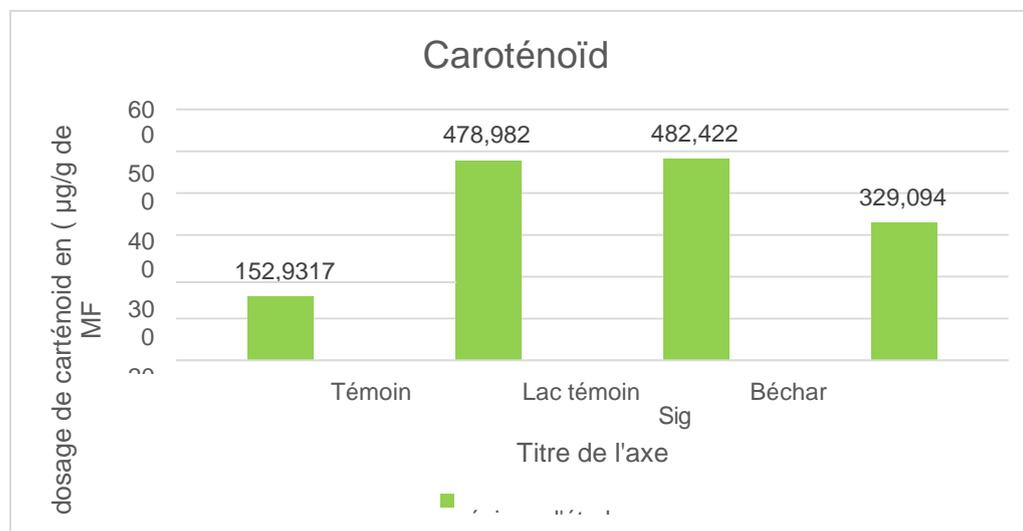


Figure 30 : histogramme représente la teneur en caroténoïdes.

D'après le dosage de la chlorophylle, on constate que les CMA ont un effet positif sur la teneur des différentes chlorophylles. On a également observé que les teneurs en chlorophylles totale, **a** et **b** ainsi que les **caroténoïdes** sont plus élevées chez les plants de tomate inoculé par l'inoculum contenu dans le sol de Bechar suivi par celles relevées chez les plants inoculé par le sol du Lac Télamine et en dernier lieu par ceux inoculés par le sol de Sig. Par contre les teneurs calculées chez les plants témoins sont les plus faibles. En analysant ces résultats on peut déduire que le complexe endomycorhizien contenu dans le sol de Bechar favorise les processus photosynthétiques.

Des résultats similaires ont été observés chez plusieurs espèces de plantes mycorhizées telles que le pois chiche (Hashem *et al.*, 2019), la tangerine (Wu *et al.*, 2006) et le rosier de damas (Abdel-Salam *et al.*, 2017), où la mycorhization a entraîné une augmentation des teneurs en chlorophylle, favorisant donc les processus photosynthétiques

D'après Ruiz *et al.* (1996), la symbiose mycorhizienne augmente l'échange gazeux des feuilles, ce qui induit une activité photosynthétique plus importante chez les plantes inoculées. Comme il a été démontré par Murkute *et al.* (2006) que la symbiose mycorhizienne augmente l'activité des enzymes nécessaires à la synthèse de la chlorophylle par l'apport accru en eau et en sels minéraux.

Par ailleurs, différents auteurs ont observé que la colonisation AM améliore la croissance des plantes, la capacité photosynthétique et l'activité enzymatique photosynthétique révélé par une augmentation de la teneur en chlorophylle dans les feuilles des plantes mycorhizées en conditions de stress salin (Colla *et al.*, 2008; Kaya *et al.*, 2009; Hajiboland *et al.*, 2010; Priou, 2013; XU *et al.*, 2018)).

5.2. La teneur relative en eau (TREF)

La contribution des champignons mycorhiziens à la tolérance au stress hydrique peut résulter d'un certain nombre de mécanismes physiques, physiologiques, cellulaires et nutritionnels (Ruiz-Lozano, 2003; Khade et Rodrigues, 2009).

Les résultats obtenus révèlent que le pourcentage de la teneur relative en eau chez les plants mycorhizés est plus important par rapport aux plants témoins non mycorhizés. Cependant, les teneurs en eau sont plus importantes chez les plants mycorhizés comparé aux plants non mycorhizés.

Les teneurs relatives en eau chez les plants inoculés par l'inoculum contenu dans le sol du Lac Télamine révèlent un pourcentage plus élevée que celle de l'inoculum de Bechar et de Sig qui respectivement de 97,25%, 83,98% et 78,63% par rapport aux plants témoins qui est de 71,26% (figure 33). Ces teneurs montrent que l'inoculum contenu dans le sol du Lac Télamine est plus efficace que celui de Bechar et de Sig. Plusieurs recherches ont démontré que les CMA sont en effet des acteurs majeurs dans le contrôle du statut hydrique de la plante hôte (Berruti *et al.*, 2016; Porter *et al.*, 2019; Rodriguez et Durán, 2020).

De par l'augmentation de 100 à 1000 fois de l'interface d'échange sol / racines via leurs réseaux mycéliens, les CMA vont être en capacité d'accéder à des réserves d'eau présentes dans des pores du sol inaccessible aux racines et donc augmenter les flux d'eau (Lozano *et al.*, 2009; Fortin *et al.*, 2016). La conséquence directe de ce mécanisme est une augmentation du potentiel hydrique et des teneurs en eau dans les feuilles et les racines (Ruiz-Lozano *et al.*, 2006; Aroca *et al.*, 2008a; Bárzana *et al.*, 2012; Quiroga *et al.*, 2017).

Par ailleurs certains auteurs ont signalé que le potentiel hydrique et les teneurs relatives en eau sont parmi les paramètres les plus affectés lors d'un stress hydrique dû à la sécheresse qui est provoquée par le manque des précipitations, et les CMA jouent un rôle majeur dans la régulation de ces deux paramètres (Essahibi *et al.*, 2017; Zarik *et al.*, 2016). La présence de CMA permettait aux plantes soumises à un stress hydrique de maintenir un potentiel hydrique maximal (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004).

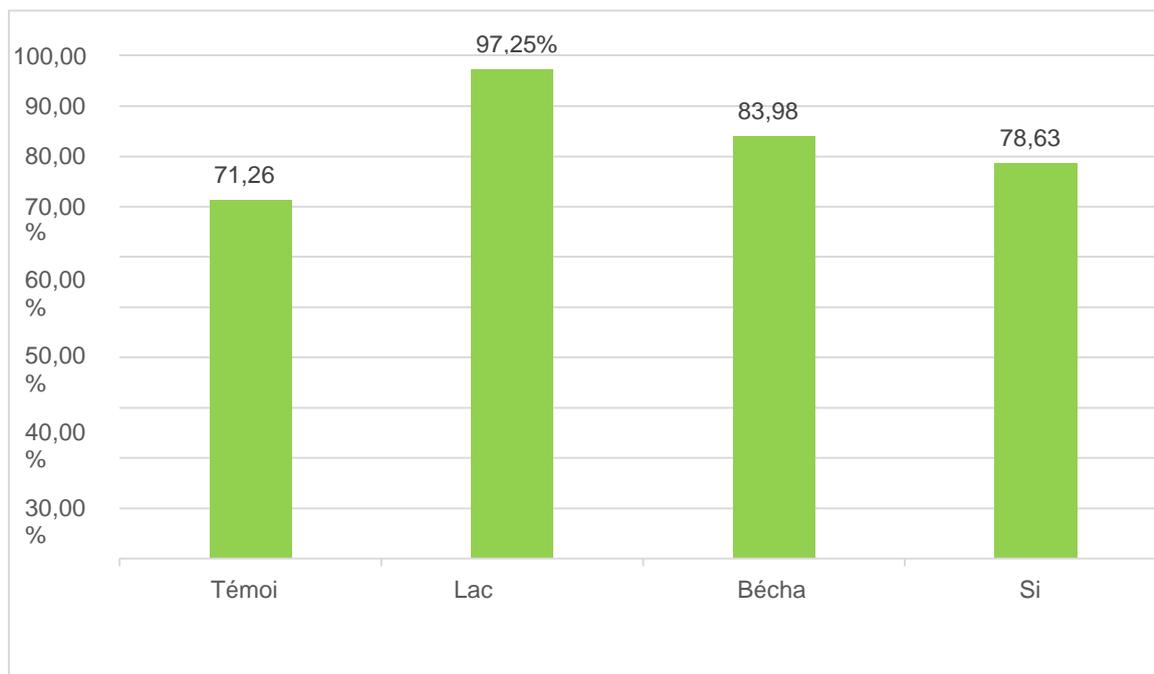


Figure 31 : histogramme représentant la teneur relative en eau.

Généralement, les plantes mycorhizées répondent en condition de sécheresse par de meilleurs taux de transpiration et de photosynthèse, une conductance stomatique et des teneurs en azote et en phosphate dans les feuilles plus élevées mais aussi à un meilleur accès à l'eau du sol et au maintien de l'équilibre hydrique dans la plante et donc une meilleure croissance que les plantes non mycorhizées (Augé, 2001; Ruiz-Lozano *et al.*, 1995).

Conclusion

Conclusion

Tous les arbres, les arbustes et les herbacés, en particulier ceux qui ont un intérêt agro-économique, sont naturellement mycorhizés. Cependant, Les champignons endomycorhizes arbusculaires (CMA) sont importants en nombre de morphotypes et leurs distributions s'avère très large en occupant tous les écosystèmes terrestres (Plenchette *et al.*, 1983). Plusieurs recherches ont montré que les CMA sont d'excellents colonisateurs des racines et dont le rôle important mérite cette attention.

En échange des ressources carbonées reçues de la plante hôte, ces champignons améliorent le prélèvement et le transport des éléments nutritifs très peu mobiles (principalement le phosphore) vers la plante (Bolan, 1991), augmentent la tolérance à la sécheresse (Hardie et Leyton, 1981; Strullu, 1991) et réduisent l'effet des infections pathogènes (Duponnois *et al.*, 1993; Duponnois et Cadet, 1994; Abdalla et Abdel-Fattah, 2000). De plus, la symbiose mycorhizienne améliore les performances des plantes en période de sécheresse en augmentant la conductance stomatique et la photosynthèse des plantes hôtes.

D'après les différentes données climatiques sur les trois stations d'étude, collectées à partir de certain Web site, montrent que les écosystèmes de Sig et de Bechar sont caractérisés respectivement par, des climats semi- aride et aride saharien. Ces données ont également révélé une irrégularité des précipitations ainsi qu'une sécheresse induite par un changement climatique au cours de ces cinq dernières années. En revanche, la station du Lac Télamine appartient au stage climatique humide.

Les écosystèmes Méditerranéens sont confrontés à une aggravation des conditions climatiques dont, allongement des périodes de sécheresses, modifiant leur fonctionnement et entraînant une perte importante de biodiversité (Thiébaud and Moatti, 2016).

La plupart des recherches sur les impacts des changements climatiques se sont concentrées sur la résistance à la sécheresse des champignons mycorhiziens, en particulier les endomycorhizes étant donné leur importance en agriculture. Un nombre

Conclusion

important d'études ont montré que les AM améliorent la résistance des hôtes au stress hydrique via le développement des hyphes capables d'accroître la stabilité des agrégats du sol, d'augmenter la surface absorbante, d'améliorer la conductance stomatique dans les cellules de l'hôte ainsi que la conduction de l'eau au travers des filaments mycéliens.

Dans le contexte du changement climatique, les espèces doivent, pour assurer leur survie, réussir à s'adapter à de nouvelles conditions locales ou être capables de migrer vers des nouveaux espaces pour retrouver des conditions plus favorables. Pour les plantes, l'association avec les champignons mycorhiziens est primordiale pour promouvoir cette capacité à tolérer les nouvelles conditions locales. Pour assurer le succès de migration et de colonisation de nouveaux environnements, la migration des champignons mycorhiziens avec leur hôte est cruciale mais est rarement systématique. L'association symbiotique mycorhizienne apparaît donc comme une stratégie importante développée par les plantes afin d'assurer leur survie et leur croissance (Chidumayo, 1997)

Les analyses physico-chimiques des différents sols collectés montrent des proportions considérablement variables. Le sol de la station de Sig a une texture sablo-limoneuse-argileuse avec une prédominance du sable, dont les pourcentages sont de 56% pour le sable, de 24% pour le limon et de 20% pour les argiles. Le sol de la station du Lac Télamine a une texture sablo-limoneuse dont de sable est fortement dominant qui est de 80%, par contre les fractions du limon et des argiles sont respectivement de 12% et de 8%. En conséquence, ces pourcentages révèlent que le sol. Par contre le sol de la station de Bechar, présente une texture sablonneuse où le sable est dominant avec une proportion de 96% par rapport à la fraction du limon et des argiles qui de 2% chacun.

Les analyses chimiques ont révélé que les sols des trois sites prospectés ont un pH alcalin. la conductivité électrique est faible allant de 0,29 à 0,51 mS/cm indiquant la pauvreté des sols en sel. Par ailleurs, le calcaire actif (CaCO_3) varie entre les trois stations qui sont de: 21,35% pour le sol de Sig, de 15,75% pour celui du Lac Télamine et de 2,73% pour Bechar ce qui révèle que les sols des stations de Sig et Lac Télamine

Conclusion

sont modérément calcaire tandis que, celui de Bechar est non calcaire. Les deux sols sont également pauvres en Azote et en phosphate assimilable. Par contre les sols de Sig et du Lac Télamine sont riches en matière organique contrairement pour celui de Bechar qui est pauvre en cet élément.

L'inventaire fongique, l'abondance sporale et le calcul du potentiel infectieux mycorrhizogène (PIM) permettent de conclure que la rhizosphère de l'olivier est peuplée par une communauté de champignons MA diversifiés et cela quel que soit le type de sol et du climat.

La détermination de la diversité des spores de ces champignons mycorrhiziens dans les trois stations a révélé la présence des différents morphotypes dans les trois stations à savoir les *Glomus sp*, *Acaulospora sp*, *Gigaspora sp*, *Scutellospora*, *Archeospora sp*, avec la dominance des genres *Glomus* et *Acaulospora*, montrant la diversité et la richesse de ces sols en champignons endomycorhiziens

L'étude du potentiel infectieux mycorrhizogène (PIM) du sol des trois stations d'étude révèle la richesse de ces sols en propagules infective. Le nombre le plus probable de propagules est de 49000 p/Kg de sol pour la station du Lac Télamine et de 18000 p/Kg pour les sols des stations de Sig et de Bechar.

L'examen microscopique des fragments racinaires des plants de tomate inoculés par les différents inocula collectés de la rhizosphère de la variété Sigoise d'olivier a permis d'estimer des fréquences et des intensités d'infection élevées pour les trois traitements. Les fréquences et les intensités d'infection sont respectivement de 98% et 72,88% pour les plants inoculés par le sol du Lac Télamine, de 89% et 70,5% pour les plants inoculés par le sol de Bechar et de 90% et 65,9% pour ceux inoculés par le sol de Sig. Nous avons également observé les différentes structures mycorrhiziennes telles que les hyphes, les arbuscules, les vésicules et des endophytes à l'intérieur des racines mycorrhizées.

Les résultats obtenus pour le dosage des paramètres physiologiques de croissance chez les plants de tomate inoculés séparément par les différents inocula, montrent que les

Conclusion

CMA ont eu un effet positif sur ces différents paramètres étudiés à savoir, la teneur de la chlorophylle totale, la chlorophylle a, la chlorophylle b, les caroténoïdes et la teneur relative en eau par rapport au témoins non mycorhizés. Nous avons également constaté que les teneurs en chlorophylles et en eau relative étaient toujours élevés chez les plants mycorhizés par le sol de Bechar.

D'une manière générale, il ressort de cette étude l'existence d'une communauté mycorhizienne commune aux rhizosphères de l'olivier distribué dans tous le sol Algérien quel que soit les différences pédoclimatiques. Néanmoins, diverse stratégies pour améliorer la tolérance à la sécheresse et optimiser la croissance des végétaux sont misent en place telle que l'inoculation mycorhizienne qui a un impact prononcé sur la croissance des plantes, l'absorption d'eau, la nutrition minérale et la protection contre les stress abiotiques.

En perspectives, il serait également intéressant de poursuivre ce travail en proposant plusieurs stratégies dans le but de développer le secteur oléicole en Algérie en passant par l'amélioration de sa résistance face à la sécheresse, notamment via l'inoculation contrôlée par des souches mycorhiziennes préalablement sélectionnées

Afin d'atteindre cet objectif, il sera nécessaire d'entreprendre des études pour:

- Décrire la structure des communautés fongiques composant le cortège mycorhizien lié à la rhizosphère de l'olivier;
- Analyser le rôle écologique et fonctionnel de la symbiose mycorhizienne à arbuscules tant au niveau de la croissance de l'arbre que de son impact sur le bio-fonctionnement du sol.

References

- Abd Allah E. F.; Hashem A.; Alqarawi A. A.; Bahkali A.H.; Mona S.. Alwhibi M.S., 2015. Enhancing growth performance and systemic acquired resistance of medicinal plant *Sesbania sesban* (L.) Merr using arbuscular mycorrhizal fungi under salt stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 22: 274–283.
- Abdel Latef A.A.H.; Chaoxing H., 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Scientia Horticulturae*. 127, 228–233.
- Alejandra F.; Leonardo A.; Juan Antonio O.; Cesar A., 2016. Synergistic interactions between a saprophytic fungal consortium and *Rhizophagus irregularis* alleviate oxidative stress in plants grown in heavy metal contaminated soil *Plant and Soil* 407, pp 355–366.
- Amrani B., 2010. La filière de tomate en Algérie. Des résultats probants en attendant une meilleure organisation.ED. La tribune. 10p.
- Andrea.; Berruti.; Roberto.; Borriello.; Alberto O.; Antonio C.: Barbera.; Erica.; Lumini.; Valeria.; Bianciotto., 2014. Arbuscular Mycorrhizal Fungi and their Value for Ecosystem Management.
- Arpin P., 2012. Étude comparative des propagules extraracinaires et intraracinaires du champignon mycorrhizien *Glomus irregulare*.
- Aryal P.; Meiners S. J.; Carlsward B. S. Ectomycorrhizae Determine Chestnut Seedling Growth and Drought Response. *Agrofor. Syst.* 2021, 95(7), 1251–1260.
- Asmelash F.; Tamrat B.; Emiru B., 2016. The Potential Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Restoration of Degraded Lands *Frontiers in Microbiology* Review.
- Augé R.M., 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11: 3-42.
- Augé R.M.; Toler H.D.; Saxton A.M., 2016. Mycorrhizal Stimulation of Leaf Gas Exchange in Relation to Root Colonization, Shoot Size, Leaf Phosphorus and Nitrogen: A Quantitative Analysis of the Literature Using Meta-Regression. *Front. Plant Sci.* 7, 1084.
- Babouche N. ; Kellouche A., 2012. Etude de l'entomofaune de l'oliveraie de la région de Tizi-Ouzou.6p. laboratoire d'entomologie.Département de biologie.faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques.Université de Tizi-Ouzou Algérie.
- Bago B.; Zipfel W.; Williams R.M.; Piché Y., 1999. Nuclei of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi as revealed by in vivo two-photon microscopy. *Protoplasma* (209): 77–89. *Plant Physiology* (124): 949–958.
- Baldy CH., 1990. Le climat de l'olivier (*Olea europea* L). Volume jubilaire du professeur P.QUEZEL.Ecole.Méditerranée XVI,1990.PP :113-121.

- Barto E. K.; Weidenhamer J. D.; Cipollini D.; Rillig M. C., 2012. Fungal superhighways: do common mycorrhizal networks enhance below ground communication?. *Trends in plant science*, 17(11), 633-637.
- Benjelloun S.; El Harchli E.H.; Amrani Joutei K.; El Ghachtouli N.; Fikri Benbrahim K.; El Yamani J., 2014. Etude de l'importance de la mycorhization dans la synthèse des composés phénoliques chez Le maïs en condition e stress hydrique. *Research Inveny: International Journal Of Engineering And Science Vol.04 (12)*. PP: 43- 49.
- Bennett A. E.; Classen A. T., 2020. Climate Change Influences Mycorrhizal Fungal–Plant Interactions, but Conclusions Are Limited by Geographical Study Bias. *Ecology*, 101(4).
- Benyattou M.; F. A.; Fonseca H. M. A. C., 2006. III-Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. *Nutrição mineral de plantas*, 74-85.
- Barbara R. L. ; Souza F. A. ; Fonseca H. M. A. C., 2006. III-Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. *Nutrição mineral de plantas*, 74-85.
- Berruti A. ; Borriello R. ; Orgiazzi A. ; Barbera A. C. ; Lumini E.; Bianciotto V., 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi and their value for ecosystem management. *Biodiversity: The Dynamic Balance of the Planet*. InTech, Rijeta, Croacia, 159-191.
- Bilgo A., Sanon, A., Sangaré, S. K., Dabiré, P., Hien, V., & Duponnois, R. (2013). Fertilité des sols et gestion du potentiel infectieux mycorhizien.
- Binet R.; Maurelli A.T., 2007. Frequency of development and associated physiological cost of azithromycin resistance in chlamydia psittaci 6BC and C. trachomatis L2. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 51(12), 4267-4275.
- Blancard D., 2010. Identifier les maladies diagnostic guide anomalie, altération des fruits. Ed. INRA, Paris. pp45-56.
- Blaszkowski J.; Kowalczyk S.; Czerniawska B., 2006. Acaulospora rehmi and Gigaspora margarita, arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) new for Europe and Poland, respectively. *Acta Mycologica*, 41(1).
- BOLAN N.S.; ROBSON A.D., 1987. Effets of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the availability of iron phosphate to plants. *Pant and Soil* 99, 401-410.
- BOLAN N. S.; ROBENSON A.D.; BARROW N.J; AYLMOORE L.A.G., 1984. Specific activity of phosphorus in mycorrhizal and non mycorrhizal plants in relation to the availability of phosphorus in PlantsSoil Biology and Biochemisty. 16, 299-304.
- Bonfante P. Genre A., 2010. Mechanisms underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis *Nature communications*, 1(4), 48.
- Bonfante P.; Bianciotto V., 1995. Presymbiotic versus symbiotic phase in arbuscular endomycorrhizal fungi: morphology and cytology. In *Mycorrhiza* (pp. 229-247). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Boostani H.R.; Chorom M.; Moezzi A.A.; Enayatizamir N., 2014. Mechanisms of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and mycorrhizae fungi to enhancement of plant growth under salinity stress: A review Scientific Journal of Biological Sciences 3(11). 98-107.
- Boro F., 2014. Gestion du flétrissement bactérien des solanacées dû à *Ralstonia solanacearum* par l'utilisation de variétés résistantes adaptées aux populations pathogènes du Burkina Faso. Mémoire d'Ingénieur d'Agriculture. Centre Agricole Polyvalent de Matourkou, Bobo - Dioulasso, Burkina Faso., 56p.
- Bouattou kh. Effet des champignons mycorhiziens arbusculaires sur la croissance de certaines plantes médicinales en conditions contrôlées et en présence de cadmium et de sel. Mémoire de fin d'étude master. Université Ahmed Ben Bella Oran 1. P 24-26.
- BOUHIREL L., 1984. Influence dans le temps de différentes doses de phosphore sur la croissance de l'Allium porrum et le développement d'un champignon endomycorhizien. Thèse de 3ème cycle. Soutenu à l'Université Laval.
- Boukhari R., 2014- contribution à l'analyse génétique et caractérisation de quelques variétés d'olivier et l'influence de l'environnement sur leurs rendements au niveau de la Wilaya de TIZI-Ouzou ; université Tlemcen. Ingénieur en agronomie. p9.
- Boullard B., 1968. Les mycorhizes (Eds) Masson et Cie, Paris, France, 135 p.
- BOULLARD B., 1968. Quelques conseils pour l'étude des mycorhizes. Première partie : la collecte du matériel. Extrait du bulletin de la société de Normandie, Set 10.3 : p 43-49 .
- Boussekssou K. ; Guerri D., 1998. Etude technico-économique de la culture de la tomate et du piment-poivron au niveau de quelques exploitations agricoles de la commune de Staoueli ». Mémoire d'ing (1997-1998. INA El Harrach Alger.).
- 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. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Mediate Drought Tolerance and Recovery in Two Contrasting Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Ecotypes by Regulating Stomatal, Water Relations, and (In)Organic Adjustments. *Plants*. 9, 80.
- Brundrett M., 2004. Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biological Reviews*, 79(3), 473-495.
- Brundrett M.; Peterson L.; Melville L.; Addy H.; McGonigle T.; Schaffer G.; Bougher N.; Massicotte H. 1994. Practical methods in mycorrhizal research. University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.
- Brunner I.; Herzog C.; Dawes M. A.; Arend M.; Sperisen C., 2015. How Tree Roots Respond to Drought. *Front. Plant Sci.*, 6, 547.
- Belahcen A. ; Rasilo P. ; Arkkio A., 2014. Segregation of iron losses from rotational field measurements and application to electrical machine. *IEEE Transactions on magnetics*, 50(2), 893-896.

- Caravaca F.; Hernandez T.; Garcia C.; Roldan A., 2002. Improvement of rhizosphere aggregate stability of afforested semiarid plant species subjected to mycorrhizal inoculation and compost addition. *Geoderma*, 108(1), 133-144.
- Caravaca F. ; Barea J. ; Palenzuela J. ; Figueroa D.; Alguacil M.; Roldan A., 2003. Etablissement of shrub species in a degraded semiaride site after inoculation with native or allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied soil Ecology*, 22(2), 103-111.
- Certi C.F.; Rossini F.; Federici F.; Quarantino D.; Vassilev N.; Fenice M., 2004. Reuse of microbially treated olive mill wastewater as fertiliser for wheat (*Triticum durum* desf). *Bioresource Technology*, 91: 135-140.
- CGERV (Centre de Gestion et d'Économie Rurale de la Vallée du Fleuve Sénégal), 2007. « Analyse économique sur la tomate industrielle campagne 2005-2006 ». ED 01 .pp14.
- Chanforan C., 2010. Stabilité de micros constituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation : études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechiométrique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate. Thèse présentée pour obtenir le grade de Docteur en Sciences de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Spécialité : Chimie 2010. 401p.
- Charles., 1956. La Coopération Agricole dans la région de Bône » publiée en 1956 par l'Union Agricole de l'Est Algérien. In l'Algérieniste n°61 de mars 1993.
- Châtaigner J.M.; Duponnois R., 2017. Les microorganismes du sol: des outils biologiques pour satisfaire les objectifs du développement durable (ODD), *Annales des Mines - Réalités industrielles*, vol. 2017, no. 1, 2017, pp. 94-98.
- Chauv C. L. ; Foury C. L., 1994. Cultures légumières et maraîchère, TOME III : Légumineuses potagères, légumes fruit. TEC et Doc Lavoisier, Paris. P563.
- Chidumayo E.N., 1997. Miombo ecology and management an introduction. Stockholm environment institute (SEI). Southampton Row, London, WC 1B HH, UK,166 p.
- Chougar S., 2011. Bioécologie de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (MEYRICK, 1917)(Lepidoptera: Gelechiidae) sur trois variétés de tomate sous serre (Zahra, Dawson).
- Colla G.; Roupheal Y.; Cardarelli M.; Tullio M.; Rivera C.M.; Rea E., 2008. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration. *Biol. Fert. Soils* 44, 501–509.
- Conjeaud C.; Scheromm P.; Mousain D., 1996. Effects of phosphorus and ectomycorrhiza on maritime pine seedlings (*Pinus pinaster*). *New Phytologist*, 133(2), 345-351.
- Copetta A.; Bardi L. ; Bertolone E. ; Berta G. ; 2011. Fruit production and quality of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) are affected by green compost and arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant biosystems*, 145(1), 106-115.
- CORNET F.; DIEM H G. ; DOMMERGUES Y.R., 1982. Effet de l'inoculation avec *Glomus mosseae* sur la croissance d'*Acacia holosericea* en pépinière et après

- transplantation sur le terrain. In *Mycorhizes: biologie et utilisation*. Ed. INRA, les colloques de l'INRA, n013, pp 281-293.
- Courchinoux J. P., 2008. La culture de la tomate, Fiche technique Tomate Décembre 2008, Yaoundé, Cameroun. 8p. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32:1–20.
 - Crossay T.; Cilia A.; Cavaloc Y.; Amir H.; Redecker D., 2019. Four new species of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) associated with endemic plants from ultramafic soils of New Caledonia. *Mycological Progress*. 17:729-744.
 - DALPE Y., 2006. Mycorhizes et bénéfiques marginaux. Québec vert Maifjuin 2006. pp 8-9.
 - Dalpé Y., 1997. Biodiversité des champignons mycorrhiziens. Centre de recherches de l'est sur les céréales et les oléagineux (CRECO), Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, Canada, KIA 0C6. 13pp.
 - Daplé Y. ; 2005. Les mycorhizes : un outil de protection des plantes mais non une panacée ». *Phytoprotection* , vol. 86, n° 1, 2005, p. 53-59.
 - Daunay M.C.; Laterrot H.; Janick J., 2008. Iconography and history of Solanaceae: Antiquity to the XVIIth century. *Horticultural Reviews.*, 34: 1-111.
 - Davison J.; Moora M.; Öpik M.; Adholeya A.; Ainsaar L.; Bâ A.; Burla S.; Diedhiou, A.; Hiiesalu I.; Jairus T., 2015. Global Assessment of Arbuscular Mycorrhizal Fungus Diversity Reveals Very Low Endemism. *Science*, 349(6251), 970–973
 - Dechamplan N. ; Gosselin L., 2002. les champignons mycorrhiziens. PISTES, Université Laval. Québec, Canada, 12 p.
 - Delmas J. ; Chevalier G. ; Villenave P. ; Bardet M.C., 1982. Mécanique des sols et mycorhizes de tuber *melanosporum*. In : les mycorhizes, partie intégrante de la plante : biologie et perspectives d'utilisations. Coll. INRA. Dijon, France, 13 :329-335.
 - Dewar R.C., 2002. The Ball–Berry–Leuning and Tardieu–Davies stomatal models: Synthesis and extension within a spatially aggregated picture of guard cell function. *Plant Cell Environ.* , 25, 1383–1398.
 - Diagne O.; Ingleby K., 2003. Ecologie des champignons mycorrhiziens arbusculaires infectant *Acacia raddiana*. In: *Un arbre au désert*. Paris, IRD Editions, 205-228.
 - Dickson S., 2004. The Arum–Paris continuum of mycorrhizal symbioses *New Phytol* 163, 187–200I Gallaud, *Etudes sur les mycorrhizes endophytes*, *Rev Gen Bot* (1905). 5–500.
 - Diouf D.; Fall D.; Kane A.; Bakhoum N.; Ba A. T.; Ba A. M.; Duponnois R., 2013. Effet de la inoculation avec les souches de *Mesorhizobium* sp et/ou des champignons mycorrhiziens à arbuscules sur la croissance et la nutrition de plants d'*A. seyal* Del. *RecherchGate*, 235-261.

References

- DSASI., 2018. Série B, direction des statistiques agricoles et des systèmes d'information. Ministère de l'Agriculture, de Développement Rural et de la Pêche.
 - Dumas C., 2016. Tomate: le génome en tranches. NATURE & ENVIRONNEMENT.
-
- Duponnois R., Sanon A., Hafidi M., Ndoye I., Bâ A. M., 2013. GENERALITES SUR LA SYMBIOSE MYCORHIZIENNE : Introduction. IRD Editions. Institut de Recherche pour le Développement. Marseille, 38pp.
 - Duponnois R. ; Hafidi ; M. ; Ndoye I. ; Ramanankierana H. ; Bâ A. M., (2013), Des champignons symbiotiques contre la désertification: écosystèmes méditerranéens, tropicaux et insulaires, institut de recherche pour le développement, marseille, p156.
 - Duponnois R. ; Planchette C. ; Prin Y. ; Ducousso M. ; Kisa M. ; Bâ, A. M. ; Galiana A, 2007. Use of mycorrhizal inoculation to improve reforestation process with Australian Acacia in Sahelian ecozones. *Ecological engineering*, 29(1), 105-112.
 - Duponnois R.; Planchette.; Thioulouse J.; Cadet P., 2010. The mycorrhizal soil infectivity and arbuscular mycorrhizal fungal spore communities in soils of different aged fallows in Senegal. *Appl soil EcoI* 17: 239-251.
 - Evelin H.; Kapoor R.; Giri B., 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. *Annals of Botany*. 104: 1263-1280.
 - FAO UN., 2016. Save and grow in practice: maize, rice, wheat. A guide to sustainable cereal production
 - FAO., 2003. L'olivier : contraintes et potentialités. Projet "assistance au recensement agricole" Liban.
 - Forges M., 2015. Régulation des échanges de nutriments au sein de la mycorhize à arbuscules (Doctoral dissertation, Université de Bourgogne (UB), FRA.).
 - Fortin A. ; Planchette C.T. ; Piche Y., 2008. Les mycorhizes: la nouvelle révolution verte. Eds. Multimondes et QUAE, Québec, Canada, 131 p.
 - Fortin J.A., 2013. Les mycorhizes en agriculture et horticulture: le model canadien. *Revue jardins de France de la société nationale d'horticulture de France et ses sociétés adhérentes*, 622 :.14-15.
 - FORTIN J.A. ; CHRISTIAN P. ; YVES P., 2008. Les mycorhizes, La nouvelle révolution verte. Édition multi monde.138p.
 - Founoune H. ; Duponnois R.; Ba A.; Sall M.S. ; Branget I. ; Lorquin J. ; Chotte J. L., 2002. Mycorrhiza helper bacteria stimulate ectomycorrhizal symbiosis of *Acacia holosericea* with *Pisolithus alba*. *New Phytologist*, 81-89.
 - Garbaje J., 2013. La symbiose mycorhizienne. Eds. QUAE, Québec, Canada, 251p.
 - GARBAYE J. 1988. Biological interactions in the rhizosphere. *Experientia* 47: 370-375.

References

- Gemma J.N; Koske R.E; Habte M., 2002. Mycorrhizal dependency of some endemic and endangered Hawaiian plant species. *Am J Bot* 89:337–345.
- Gerdemann J. W. Nicolson T. H., 1963. Mycorrhizal Endogone Species., 313-325p.
- Gianinazzi S.; Gollotte A.; Binet M.N.; vanTuinen D.; Redecker D.; Wipf D., (2010). Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services *Mycorrhiza* 20, 519–530.
- GIANINAZZI S., 1982. L'endomycorhization contrôlée en agriculture, en horticulture et en arboriculture: problèmes et progrès. In les mycorrhizes: biologie et utilisation. Les colloques de l'INRA, Dijon, France. n013, pp 231-238.
- Gianinazzi-Pearson V., 1982. Importance des mycorrhizes dans la nutrition et la physiologie des plantes. In Mycorrhizes: Biologie et Utilisation. Ed. INRA, les colloques de l'INRA, n013 51-59 pp
- Giovannetti M.; Luciano A.; Loredana S., (1991). Morphological, cytochemical, and ontogenetic characteristics of a new species of vesicular –arbuscular mycorrhizal fungus. *Revue canadienne de botanique.*, 69(1): 161-167.
- Goto B. T.; Maia L. C., 2006. Glomerospores: a new denomination for the spores of Glomeromycota, a group molecularly distinct from the Zygomycota. *Mycotaxon*, 96(4), 129-132.
- Hajiboland R.; Joudmand A., 2009. The K/Na replacement and function of antioxidant defense system in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars. *Acta Agric. ScandB Soil Plant Sci.* 59, 246–259.
- Halilat M. T. ; Tessier D., 1997. Améliorations des propriétés physiques des sols sableux du Sahara Algérien par ajout d'argile. *Journal Algérien des Régions Arides.* 12pp.
- Hamel C., 1996. Prospects and problems pertaining to the management of arbuscular mycorrhizae in agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 60: 197-210.
- Hanlon L.M; Lynette K.A; Kennedy D.M., 2016. Coastal Mycology and Invasive Species: Boundary Conditions for Arbuscular Mycorrhizal (AM). *Fungi in Incipient Sand Dunes Journal of Coastal Research*, 75(sp1):283-287.
- He X.; Nara K.; 2007. Element biofortification: can mycorrhizas potentially offer a more effective and sustainable pathway to curb human malnutrition? *Trends in Plant Science* 12: 331-333.
- Hijri M.; Sanders I. R., 2005. Low gene copy number shows that arbuscular mycorrhizal fungi inherit genetically different nuclei. *Nature*, 433(7022), 160-163.
- Hilborn D. R. P.; Stone., 2005. Détermination de l'indice – Phosphore dans un champ. Fiche technique. Génie Agric. Ontario rural. 8pp.
- Hodge A.; Fitter A.H., 2010. Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling *Proc Natl Acad Sci U S A* 107:13754–13759.
- Hodge A.; Storer K.; 2014., Arbuscular mycorrhizal and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems *Plant Soil* ; 386:1–19.
- Hodge A., 2003. Plant nitrogen capture from organic matter as affected by spatial dispersion, interspecific competition and mycorrhizal colonization. .

References

- Souza T., 2015. Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi. Cham: Springer, 153P.
- INGLEBY K.; FAHMER A.; WILSON J.; NEWTON A. C.; MASON P. A.; SMITH R., 2001. Interactions between mycorrhizal colonisation, nodulation and growth of *Calliandra calothyrsus* seedlings supplied with different concentrations of phosphorus solution Symbiosis. Balaban, Philadelphia! Rehovot, 30: 15-28.
- INVAM (International culture collection of VA Mycorrhizal fungi). Téléchargé en 2009. <http://www.invam.caf.wvu.edu>
- Janos D.P., 1980. Mycorrhizae influence tropical succession Biotropica 12S, 56–64.
- Jasper D.A.; Abbot L.K.; Robson D., 1991. The effect of soil disturbance on vesiculararbuscular mycorrhizal fungi in soils from different vegetation types. New Phytologist, 118: 471-476.
- Jeffries P.; Barea J.M., 2000. Arbuscular mycorrhiza a key component of sustainable plant–soil ecosystems, in: B, Hock (Ed.), The Mycota IX Fungal Associations Springer, Berlin, 95-113.
- Johansson J.F.; Paul L.R., 2004 Finlay R.D. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. FEMS Microbiol. Ecol, 48, 1–13.
- Julianus P. ; Perrin B.; Chave M., 2020. Des tomates mycorrhizées dès la pépinière pour favoriser la nutrition et la protection des plantes : développement d’un dispositif-pilote. Le Cahier des Techniques de l’Inra. 9pp.
- Karim F.A., 2017. Changement climatique ou variabilité climatique dans l’Est algérien. Mémoire de Magistère, Université Constantine 1.
- Kaya C.; Ashraf M.; Sonmez O.; Aydemir S.; Tuna L.A.; Cullu A.M., 2009. The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity. Sci. Hort. 121, 1–6.
- Kenyon J.; Hegerl G.C., 2008. Influence of modes of climate variability on global temperature extremes. Journal of Climate 21(15): 3872 -3889.
- Khirani S.; Boutaj H.; Elmodafar C.; Oueld Elhadj Khelil A., 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with date palm in Ouargla region (Southe Astern Algeria). Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology 21(45-46): 15-28.
- Khoumeri L., 2009. Influence de la photopériode, des milieux de culture et des hormones de croissance sur le développement in-vitro des embryons et des microbotures de l’olivier (*Olea europaea* L.) Var chemlal. Thèse. Ing. 100p.
- Kiers E.T.; Duhamel M.; Beesetty Y.; Mensah J.A.; Franken O.; Verbruggen E.; Fellbaum C.R.; Kowalchuk G.A.; Hart M.M.; Bago A., 2011. Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis Science 333: 880–2.
- Kisa M.; Duponnois.; R.; Plenchette C.; Prin Y. ; Ducouso M. Bâ. A. M.; Galiana A., 2007. Use of mycorrhizal inoculation to improve

References

- reafforestation process with Australian Acacia in Sahelian ecozones. *Ecological engineering*, 29(1), 105-112.
- Klironomos J.; Zobel M.; Tibbett M.; Stock W. D.; Rillig M. C.; Parrent J.L.; Bever J. D., 2011. Forces that structure plant communities: quantifying the importance of the mycorrhizal symbiosis. *The New Phytologist*, 189(2), 366-370.
 - Kohl L.; Lukasiewicz C.E.; van der Heijden M.G., 2016. Establishment and effectiveness of inoculated arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. *Plant Cell Environ.*, 39, 136–146.
 - Kormanik P.; McGraw A., 1982. Quantification of vesicular- arbuscular mycorrhizae in plant roots.
 - Koske R. E.; Halvorson W. L., 1981. Ecological studies of vesicular–arbuscular mycorrhizae in a barrier sand dune. *Canadian Journal of Botany*, 59(8), 1413-1422.
 - Krishnamoorthy R.; Premalatha N.; Karthik M.; Anandham R.; Senthilkumar M.; Gopal N.O.; Selvakumar G.; Tongmin S., 2017. Molecular Markers for the Identification and Diversity Analysis of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF). BP Singh, VK Gupta (eds), *Molecular Markers in Mycology*, Fungal Biology.
 - Kronzucker H.J.; Coskun D.; Schulze L. M.; Wong J.R.; Britto D.T., 2013. Sodium as nutrient and toxicant. *Plant Soil* 369:1–23.
 - Kruger M.; Walker C.; Schußler A., 2011. *Acaulospora brasiliensis* comb nov and *Acaulospora alpine* (*Glomeromycota*) from upland Scotland: morphology, molecular phylogeny and DNA-based detection in roots *Mycorrhiza* ; 21:577–87.
 - Lambers H.; Raven J.A.; Shaver G.R.; Smith S.E., 2008. Plant nutrient acquisition strategies change with soil age *Trends Ecol Evol* 23: 95–103.
 - Landeweert R.; Hoffland E.; Finlay R. D.; Kuyper T. W.; van Breemen.; N. (2001). Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. *Trends in ecology & evolution*, 16(5), 248-254.
 - Landon J.R., 1984. Booker Tropical Soil Manual. xiv. Booker Agriculture International Ltd., London, and Longman, Burnt Mill, U.K, p 450.
 - LAPEYRIE F.F.: DUCLOS J.L. ; BRUCHET G., 1982. Influence du calcaire sur la croissance mycélienne de quelques champignons ectomycorhiziens et endomycorhiziens des éricacées. Les Colloques de l'INRA 13, 381-390.
 - LAPEYRIE F.F., 1990. The role of ectomycorrhizal fungi in calcareous soil tolerance by "symbiocalcicole" woody plants. *ELSILVER /INRA. Ann. Sci.For.*21:579-589.
 - Laumonier R., 1979. Cultures légumières et maraichères. Tome III. Ed. Bailliere, Paris, France. 279p.

References

- Leake, J.; Johnson D.; Donnell D.; Muckle G.; Boddy L.; Read D., 2004. Networks of power and influence : the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant.
- Lenoir I. ; Joël F. ; Lounès-Hadj Sahraoui A., 2016. Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses : A review.
- Lopéz-sánchez M.E.; Honrubia M., 1992. Seasonal variation of vesicular arbuscular mycorrhizae in eroded soils from southern Spain. *Mycorrhizae*, 2:33-39.
- Lousert R.; Brousse G., 1978. L'olivier technique agricole et production méditerranéenne Ed.G.P. Maosoneuve et Larose. 437p.
- Lugo M.A.; Cabello M.N.; 2002. Native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) from mountain grassland (Cordoba, Argentina) I. seasonal variation of fungal spore density. *Mycologia*, 94: 579-586.
- MANGA A.; DIOP T.A. ; TUINEN D.V. ; NEYRA M., 2007. Variabilité génétique des champignons mycorrhiziens associés à *Acacia seyal* en zone semi aride du Sénégal. *Science et changements planétaires 1secheresse*. Vol. 18, n02: 129-133.
- Mangan S. A.; Eom A. H.; Alder G. H.; Yavit J. B.; Herre E.A., 2004. Diversity of mycorrhizal fungi across a fragmented forest in Panama: insular spore communities differ from mainland communities. *Oecol.*, 141: 687-700.
- Manjunath A.; Hue N. V. Habte M., 1989. Response of *Leucaena leucocephala* to vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization and rock phosphate fertilization in an Oxisol. *Plant and soil*, 114(1), 127-133.
- Marschner P.; Timonen S., 2005. Interactions between plant species and mycorrhizal colonization on the bacterial community composition in the rhizosphere. *Appl Soil Ecol* 28: 23-36.
- Metallaoui S. Atoussi, S. ; Merzoug A. ; Houhamdi M., 2009. Hivernage de l'Erismature à tête blanche (*Oxyura leucocephala*) dans Garaet Hadj-Tahar (Skikda, nord-est de l'Algérie). *Aves*, 46(3), 136-140.
- Marulanda A.; Porcel R.; Barea J.M.; Azcón R., 2007. Drought tolerance and antioxidant activities in lavender plants colonized by native drought-tolerant or drought-sensitive *Glomus* species. *Microb. Ecol.*, 54, 543.
- Meddad H. A.; Hamza N.; Neffar S.; Beddiar A.; Gianinazi S.; Chenouni H., 2017. Spatiotemporal variation of arbuscular mycorrhizal fungal colonization in olive (*Olea europaea* L) roots across a broad mesic-xeric climatic gradient in north Africa. *Science of the total environment*, 583, 176-189.
- Meddich A.; Oihabi A.; Abbas Y.; Bizid E., 2000. Rôle des champignons mycorrhiziens à arbuscules de zones arides dans la résistance du trèfle (*trifolium alexandrinum* L.) au déficit hydrique. *Agronomie*, 20 :283-295.
- Michel-rosales A. ; Aldés M., 1996. Arbuscular mycorrhizal colonization of lime in different agroecosystems of the dry tropics. *Mycorrhizae*, 6: 105-109.
- Min Sheng M.T.; Tang M.; Chen H.; Yang B.; Zhang F.; Huang Y., 2008. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. *Mycorrhiza* 18:287.

References

- Morton J. B., 1990. Species and clones of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes): their role in macro-and microevolutionary processes. *Mycotaxon*, 37, 493-515.
- Mosse B., 1986. Mycorrhiza in a sustainable agriculture. *Biological Agriculture & Horticulture*, 3: 191-209.
- Mummey D.L.; Rillig M.C., 2006. The invasive plant species *Centaurea maculosa* alters arbuscular mycorrhizal fungal communities in the field. *Plant and Soil*, 288(1), 81-90.
- Murkute A.A.; Sharma S.S.K.; Singh S.K., 2006. Studies on salt stress tolerance of citrus rootstock genotypes with arbuscular mycorrhizal fungi. *Hort. Sci. (Prague)*, 33, (2): 70–76.
- Nadeem M.; Zaman R.; Saleem I., 2017. Boardroom gender diversity and corporate sustainability practices: Evidence from Australian Securities Exchange listed firms. *Journal of Cleaner Production*, 149, 874-885.
- Naika S.D. ; jeud J.V.L. ; jeffau M.; Hilmi M.; Vandam B., 2000. La culture de tomate, production, transformation et commercialisation. Ed. Wageningen, PaysBas., 105p.
- Naika S.; Lidt de Jeude J. V.; Goffau M. D.; Hilmi M.; van Dam B., 2005. La culture de la tomate production, transformation et commercialisation. *Agrodok 17*, 5^{ème} édition. Pp107. *Nature reviews Microbiology* 6: 763–75.
- Neera G.; Shikha C. , 2010. Arbuscular mycorrhizal networks: process and functions. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30 : 581–599.
- Nicolas R., 2011. Analyse du polymorphisme moléculaire de gènes de composantes de la qualité des fruits dans les ressources génétiques sauvages et cultivées de tomate; recherche d'associations gènes/QTL. Thèse de doctorat ; Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier SUPAGRO. Unité de Génétique et Amélioration des Fruits et Légumes. Centre INRA Avignon Montfavet, France. pp 275.
- Oehl F.; Sieverding E.; Palenzuela J.; Ineichen K.; Silva G.A. 2011. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification *IMA Fungus* 2, 191–199.
- Oehl F.; Alves a Silva G.; Goto B.T.; Costa Maia L.; Sieverding E., 2011. Glomeromycota: two new classes and a new order. *Mycotaxon*, 116(1), 365-379.
- Olsson O.L.A.; Wiktander U.; Holmgren N.M.; Nilsson S.G., 1999. Gaining ecological information about Bayesian foragers through their behaviour. II. A field test with woodpeckers. *Oikos*, 264-276.
- Opik M et al., 2013. « L'échantillonnage mondial des racines des plantes élargit la diversité moléculaire décrite des champignons mycorhiziens arbusculaires ». *Mycorrhize*. 23(5) : 411-430. doi : 10.1007/s00572-013-0482-2 . PMID 23422950 . S2CID 17162006 .
- Ouahmane L. ; kchakech H. ; Hafidi M. ; Duponnois R., 2008. Coexistence des plantes dans les écosystèmes méditerranéennes et diversité des champignons

- mycorhiziens arbusculaires et des communautés de *Pseudomonas fluorescens* dans le sol : (cas de *Pinus halepensis* et *Cupressus atlantica* au haut Atlas-Maroc). Journées francophones mycorhize. Plante microbe environnement, 4-5 septembre, Dijon, France, pp.39-40.
- Pagano M.C. ; Dhar P.P., 2014. Mycorrhizas associated with forests under climate change In: Lac S, Lucas-Borja M (eds) Climate change and forest ecosystems Nova Science, New York.
 - Parniske M. 2008. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses
 - Peay K.G.; Bidartondo M.I.; Elizabeth A., 2010. Not Every unguis Is Everywhere: Scaling to the Biogeography of Fungal–Plant Interactions across Roots, Shoots and Ecosystems. *New Phytol.*, 185(4), 878–882. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03158.x>.
 - Peyret-Guzzon M.P., 2014. *Etudes moléculaires de la diversité des communautés et populations de champignons mycorhiziens à arbuscules (Glomeromycota)* (Doctoral dissertation, Université de Bourgogne).
 - Peyronnel B.; Fassi B. ; Fontana A. ;Trappe J.M., 1969. Terminology of Mycorrhizae. *Mycologia*, 61 : 410- 411.
 - PFLEGER F.L.; LINDERMAN R.G., 1994. Mycorrhizae and plant health. APS Press, The American phytopathological society, ST. Paul ,Minnesota, 334p.
 - Picone C 2000. Diversity and abundance of arbuscular-mycorrhizal fungus spores *Biotropica* 32, 734–750.
 - Pierre L. ; Rachid O. ; Tahar H. ; Salem Ch. ;Jean P. B., 2013. Olivier (La culture de l’olivier, de l’Antiquité à la Kabylie contemporaine). open edition journal.P.35.
 - Piou L., 2013. Multiplication des mycorhizes arbusculaires en milieu liquide et solide afin d’améliorer la formulation de biofertilisants. *Agricultural sciences*. 45pp)
 - Planchette C., 1991. Utilisation des mycorhizes en agriculture et horticulture. In : les mycorhizes des arbres et plantes cultivées, Strullu D.G., coordinateur, Lavoisier Tech et doc , Paris,France,pp.131-196.
 - Planchette C. ; Strullu D.G. ; Perrin R. ; Garbaye J., 1991. Discussion 34 « Utilisation des mycorhizes en agriculture et horticulture». In: Les mycorhizes des arbres et des plantes cultivées, 131-179p.
 - PLENCHETTE C., 1982. Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules, un potentiel à exploiter en agriculture. *Rev. Phytoprot.*, 63(2) : 68-108.
 - Planchette C.; Dauphin C.; Meynard J.M.; Fortin J.A., 2005. Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Canadian Journal of Plant Science*, vol. 65, p. 31-40.
 - Polese J.M., 2007. La culture des tomates. Amazon. Edition N°1, Vol artemis, Paris, France. 95p.

References

- Pons F.; Gianinazzi P.V., 1984. Influence du phosphore, du potassium, de l'azote et du pH sur le comportement in vitro de champignons endomycorhizogènes a vésicules et arbuscules. In Cryptogamie, mycologie, Tome 5. 87 -100 pp.
- Ramanankierana.; Duponnois H.; Assikbetse R.; Kisa M.; Thioulouse J.; Lepage M., 2006. Litter-forager termite mounds enhance the ectomycorrhizal symbiosis between *Acacia holosericea* A. Cunn. Ex G. Don and *Scleroderma dictyosporum* isolates. *FEMS microbiology ecology*, 56(2), 292-303.
- Read D.J., 1991. Mycorrhizas in ecosystems *Experientia* 47: 376-391.
- Redecker D.; Kodner R.; Graham L.E., 2000. Glomalean fungi from the Ordovician. *Science (New York, N.Y.)*289: 1920–1.
- Redecker D.; Schüßler A.; Stockinger H.; Stürmer S.L.; Morton J.B.; Walker C., 2013. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza*, 23(7), 515-531.
- Reinhardt D., 2007. Programming good relations—development of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(1), 98-105.
- Rekibi F., 2015. Analyse compétitive de la filière tomate sous serre. Cas de la Wilaya de Biskra (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra .
- Requena N.; Serrano E.; Ocón A.; Breuninger M., 2007. Plant signals and fungal perception during arbuscular mycorrhiza establishment. *Phytochemistry*, 68(1), 33-40.
- Revaillet S. ; Pouget C. ; Alvarez G. ; Fontaine S., 2021. Mesurer la capacité de rétention en eau d'un sol par centrifugation: une méthode fiable, facile et rapide à mettre en œuvre dans un laboratoire. *Le Cahier des Techniques INRAE, INRAE*, 2021, 107, pp.1-27.
- Revillini D.; Catherine A.G.; Nancy C.J., 2016. The role of locally adapted mycorrhizas and rhizobacteria in plant-soil feedback systems *Functional Ecology* © 2016 British Ecological Society, *Functional Ecology*.
- Rey Y. ; Costes C., 1965. La physiologie de la tomate. Etude bibliographique. INRA, Avignon, France. 11p.
- Rillig M.C.; Wright S.F.; Kimball B.A.; Pinter P.J.; Wall G.W.; Ottman M.J.; Leavitt S.W., 2001. Elevated carbon dioxide and irrigation effects on water stable aggregates in a *Sorghum* field: possible role for arbuscular mycorrhizal fungi *Global Change Biology* 7(3): 333-337.

References

- Ruissen T., 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi and their ecological roles: a review with a Norwegian perspective.
- Ruissen T., 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi and their ecological roles: a review with a Norwegian perspective. *Agarica*, 33, 105-116.
- Ruissen T., 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi and their ecological roles: a review with a Norwegian perspective. *Agarica*, 33, 105-116.
- Ruiz-Lozano J.M.; Azcon R.; Gomez M., 1995. Effects of arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. *Applied and Environmental Microbiology* 61: 456-460.
- Sahali N.; Douar B.; Selmani A., 2021. Analyse de l'évolution récente des cultures maraichères en Algérie. *Revue Cahiers Economiques*. Volume : 12 – Numéro: 02, P:487-496.
- Sahri F.Z.; Boudiaf I.; Aliout A.; Beddiar A., 2020. Contribution à l'étude des champignons mycorrhiziens arbusculaires de deux subéraies du Parc National d'El Kala (Nord-Est algérien). *IOBC-WPRS Bulletin*, 152, 196-201.
- Sancholle M., 2001: *Glomusproliferum* sp. Nov: a description based on morphological, biochemical, molecular and monoxenic cultivation data. *Mycologia*, 92: 1178-1187.
- SARR B.; NDIAYE F. ; NDIAYE M. ; DIOP T. A., 2013.Effet de deux types d'insecticides sur la mycorhization arbusculaire et le développement de deux variétés de pomme de terre (*Solanum tuberosum*). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7(5): 1902-1909
- Sawadogo K., 2013. Conduite d'une culture de multiplication de semences de tomates d'hivernage à la station de Farako-Bâ, INERA Farako-Bâ, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 65p.
- Schüßler A.; Gehric H.; Schwarzott D.; Walker C., 2001. Analysis of partial *Glomales* SSU rRNA gene sequences: implications for primer design and phylogeny *Mycol Res* 1: 5-15.
- Schüßler A.; Schwarzott D.; Walker C., 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological research*, 105(12), 1413-1421.
- Schwarzott D.; Walker C.; Schüßler A., 2001. *Glomus*, the largest genus of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales), is nonmonophyletic. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 21(2), 190-197.
- Sekour B., 2012. Phytoprotection de l'huile d'olive vierge (H.O.V) par ajout des plantes végétales (thym,ail,romarin). Mémoire de magister. université de Boumerdes.P :8-36.
- Seyni Bodo B.; Morvan X.; Malam Issa O.; Tidjani Adamou D.; Ambouta Karimou J.M.; Marin B.; Ponthieu M.; Fronteau G., 2019. Connaissance locale de la variabilité de surface du sol et des contraintes associées pour la production du niébé en zone Sahélienne du Niger. *Etude et Gestion des Sols*, Volume 26, 65-79.
- Shankara N. ; Jeude J. L. ; Goffau M. ; Hilmi M. ; Dam B., 2005. La

culture de la tomate « Production, transformation et commercialisation »
Editor : Barbara van Dam, Imprimé par: Digigrafi, Fondation Agromisa et
CTA, Wageningen, Pays-Bas. 105p.

- Sharma M.P., Adholeya A., 2000. Enhanced growth and productivity following inoculation with indigenous AM fungi in four varieties of onion (*Allium cepa* L.) in an alfisol. *Biol. Agric. Hort.*, 18: 1-14.
- Sieverding E., 1991. Vesicular- arbusculaire mycorrhiza management in tropical agrosystems. *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)*. Eschborn, Germany, 1991, 371 p.
- SIEVERDING E., 1988. Effect of soil temperature on performance of different VA mycorrhizal isolates with cassava. *Angewandte botanik*. Vol 62 n05-6: 295 - 300.
- Simard S.W.; Durall D.M., 2004. Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany*, 82(8), 1140-1165.
- Siqueira J.O.; Sylvia D.M.; Gibson J.; Hubbell D.H., 1985. Spores, germination, and germ tubes of vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi. *Canadian Journal of Microbiology*, 31(11), 965-972.
- SMITH G.S., 1987. Interactions of nematodes with mycorrhizal fungi. in: Veech JA, Dickson DW (eds), *Vistas on Nematology*, Society of Nematologists. Hyattsville, Maryland. pp 292-300.
- SMITH S.E.; GIANINAZZI P.V., 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plants Physiol Plant Mol. Biol.* 39:221-224.
- Smith S.E.; Smith F.A.; Jakobson I., 2003. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plants irrespective of growth responses. *Plant physiol.*, 133: 16-20.
- Smith S.E.; Read D.J., 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. Third Ed. Academic, San Diego California, USA., 45:219-227.
- SMITH S.E.; dREAD D.J., 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. Second edition Academic press, San Diego, Calif., U.S.A.
- Sokolski S.; Dalpe Y.; Piche Y., 2011. Phosphate transporter genes as reliable gene markers for the identification and discrimination of arbuscular mycorrhizal fungi in the genus *glomus* *Appl Environ Microb*; 77:1888–91.
- Spooner D.M.; Peralta I.E.; Knapp S., 2005. Comparison of AFLPs with other markers for phylogenetic inference in wild tomatoes [*Solanum* L. section *Lycopersicon* (Mill.) Wettst.]. *Taxon.*, 54: 43-61.

References

- Staddon P. L.; Thompson K.; Jakobsen I.; Grime J.P.; Askew A.P.; Fitter A.H., 2003. Mycorrhizal Fungal Abundance Is Affected by Long-term Climatic Manipulations in the Field. *Glob. Change Biol.*, 9(2), 186–194.
- St-Arnaud M.; Toussaint J.P.; Charest C., 2004. Nitrogen transfer and assimilation between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* Schenck & Smith and Ri T-DNA roots of *Daucus carota* L. in an in vitro compartmented system. *Canadian Journal of Microbiology*, 50(4), 251-260.
- Steinkellner S. ; Lenzemo V.; Langer I. ; Schweiger P. ; Khaosaad T.; Toussaint J.P.; Vierheilig H., 2007. Flavonoids and strigolactones in root exudates as signals in symbiotic and pathogenic plant-fungus interactions *Molecules* (Basel, Switzerland). 12: 1290–306.
- Stockinger H.; Peyret-Guzzon M.; Koegel S.; Bouffaud M.L.; Redecker D., 2014. The largest subunit of RNA polymerase II as a new marker gene to study assemblages of arbuscular mycorrhizal fungi in the field. *PloS one*, 9(10), e107783.
- Strullu D.G., 1990 : Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. Collection TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 250 p.
- Sylvia D.M., 1990. Distribution, structure, and function of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. <https://www.historique-meteo.net/>.
- Sylvia D.M., 1990. Distribution, structure, and function of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. In: *Rhizosphere Dynamics*. J.E. Box and L.H. Hammond (ed.) p. 144-167. Westview Press, Boulder, CO.
- Tao L.; Zhiwei Z., 2005. Arbuscular mycorrhizas in a hot and arid ecosystem in southwest China. *Soil Ecol. App.* 29: 135-141.
- Tedersoo L.; Bahram M.; Zobe M., 2020. How mycorrhizal associations drive plant population and community biology. *Plant Ecology*. Science 367, eaba1223. 9pp.
- Tilman D.; Downing J.A., 1994. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature*, 367(6461), 363-365.
- Trouvelot S.L.B.; Diederik D.R.; van Tuinen M.A.D., 2015. Arbuscular mycorrhiza symbiosis in viticulture: a review *Agron Sustain Dev.*
- Van Aarle I.M.; Cavagnaro T.R.; Smith S.E.; Smith F.A.; Dickson S., 2005. Metabolic activity of *Glomus intraradices* in Arum- and Paris- type arbuscular mycorrhizal colonization. *New Phytologist*, 166(2), 611-618.
- Van der Heijden M.G.A.; Martin F.M.; Selosse M.A.; Sanders I.R., 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future *New Phytologist* 205:1406–1423.
- Van Der Heijden M.G.; Martin F.M.; Selosse M.A.; Sanders I.R., 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: The past, the present, and the future. *New Phytol.*, 205, 1406–1423.

References

- Van der Vossen H.A.M.; Mashungwa G.N.; Mmotsi R.M., 2007. *Olea europaea L.*
- Veresoglou SD, Baodong C, MC Rillig (2012). Arbuscular mycorrhiza and soil nitrogen cycling Review Soil Biology & Biochemistry 46 (2012). 53-62.
- Viaux P. ; Parat J. ; Blal B., 2002. Les endomycorhizes, indicateurs de la qualité des sols, Perspectives agricoles n, 277, 50-54.
- Wallander E.; Albert V.A., 2000 phylogeny and classification of oleaceae based on rps 16 and trnl-f sequence data. American journal of botany, 87,1827-1841.
- Weber J.; Ducouso M.; Tham F.Y.; Nourissier-Mountou S.; Galiana A.; Prin Y.; Lee S.K., 2005. Co-inoculation of *Acacia mangium* with *Glomus intraradices* and *Bradyrhizobium sp.* in aeroponic culture. Biology and fertility of soils, 41(4), 233-239.
- Willis A.B.F.; Harris P.J.C., 2013. The Ecology of Arbuscular Mycorrhizal Fungi.
- Worchel E.R.; Giauque H.E.; Kivlin S.N., 2013. Fungal Symbionts Alter Plant Drought Response. Microb. Ecol., 65(3), 671–678.
- Wu S.; Shi Z.; Chen X., Gao J., Wang X., 2022. "Arbuscular mycorrhizal fungi increase crop yields by improving biomass under rainfed condition: a meta-analysis." *PeerJ* 10: e12861.
- Wu Q.S.; Zou Y.N., 2017. Arbuscular mycorrhizal fungi and tolerance of drought stress in plants. In *Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants*; Springer: Singapore,; 25–41.
- Wubet T.; weib M.; Kottke I.; Oberwinkler F. 2003. Morphology and molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in wild and cultivated yew (*Taxus baccata*). Canadian journal of botany, 8(13), 255-266.
- Xu H. ; Lu Y. ; Tong S., 2018. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of maize seedlings under salt stress." *Emirates Journal of Food and Agriculture*, vol. 30, no. 3, , pp. 199.
- Young J.P.W., 2015. Genome diversity in arbuscular mycorrhizal fungi *Current Opinion in Plant Biology*, 26, 113-119.
- Zhang Y., Guo L.D.; Liu R.J. 2004. Survey of arbuscular mycorrhizal fungi in deforested and natural forest land in the subtropical region of Dujiangyan, southwest China. *Plant and Soil*, 261(1), 257-263.
- Zhu Y.G.; Miller R.M., 2003. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plants systemes. Trends plant Sci., 8: 407-409.
- Zhu Y. G.; Miller R.M. 2003. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil–plant systems. Trends in plant science, 8(9), 407-409.
- Zougari-Elwedi B.; Sanaa M.; Labibdi S.; Dalpé Y.; Lounès-Haj Sahraoui A., 2012. Evaluation de la mycorrhizaion du palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) dans la région du Djérid. Revue de l’I.N.A.T. Vol 28 n° 1.
- Anonyme1. <https://www.google.com/search>.
- Anonyme2. <https://www.aps.dz/regions/115484-grands-espoirs-pour-le-developpement-de-l-oleiculture-a-mascara>.

References

- Anonyme3.<https://www.istockphoto.com/fr/vectorel/parties-de-la-plante-morphologie-de-la-plante-de-tomate-avec-les-feuilles-vertes-gm1203065165-345632886>.
- Anonyme4.https://www.tomatonews.com/fr/algerie-enfin-autosuffisante-_2_1519.html.
- Anonyme5.<https://www.aps.dz/regions/115484-grands-espoirs-pour-le-developpement-de-l-oleiculture-a-mascara>.
- Anonyme6.https://www.elwatan.com/regions/ouest/oran/oran-l-oleiculture-fait-face-au-manque-de-main-doeuvre-27-11-2018#google_vignette.
- Anonyme7.[https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/bechar#:~:text=Climat%20%2D%20Bechar%20\(Algerie\)&text=Le%20climat%20de%20B%C3%A9char%20est,%C3%A0%20780%20m%C3%A8tres%20d'altitude](https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/bechar#:~:text=Climat%20%2D%20Bechar%20(Algerie)&text=Le%20climat%20de%20B%C3%A9char%20est,%C3%A0%20780%20m%C3%A8tres%20d'altitude).
- Anonyme8.<https://www.vitamedz.com/fr/Algerie/quintaux-d-olives-recoltes-bechar-606594-Articles-0-0-1.html>.
- Anonyme9.(Fr.weatherspark.com).
- Anonyme10. (<https://www.historique-meteo.net/>).
- Anonyme 11.
- Anonyme12. (<https://www.historique-meteo.net/>).
- Anonyme13.<https://www.ouetquand.net/partir/quand/afrique/algerie/bechar/#:~:text=B%C3%A9char%20b%C3%A9n%C3%A9ficie%20d'un%20climat,est%20passable%2C%20mais%20reste%20correct>.

Annexes

Annexes

Annexe 1 : FAA : mélange éthanol-acide lactique-formole

- Formol à 37%5ml
- Acide acétique glacial 5ml
- Alcool éthylique90ml

Annexe 2: Polyvinyl-lactoglycérol (PVLG)

- Alcool polyvinylique aq.à 15% 56g
- Acide lactique..... 22g
- Glycérol22g

Annexe 3: Réactif de Melzer (v : v)

- Hydrate de chlorate 100g
- Iodine 1,5g
- Potassium iodide5g
- Eau distillée 1L

Annexe 4 : Bleu de trypan au lactophérol

- Acide lactique..... 100ml
- Glécylol...100ml
- Bleu de trypan..... 0,3g
- Phénol...100ml

Résumé

Résumé

Résumé

Les champignons mycorhiziens sont très importants dans la vie de la plupart des plantes herbacées. En Algérie, la tomate occupe une place privilégiée dans le secteur maraîcher de ce fait la connaissance et l'exploitation des champignons mycorhiziens arbusculaires qui lui sont associés pourrait être un outil de son développement durable.

Les analyses pédologiques de ces trois stations montrent que le sol de Lac Télamin est sablo-limoneux à dominance de sable et celui de Bechar est sableux par contre le sol de Sig est une texture sablo-limoneuse-argileuse, tous les trois sont pauvres en azote et en phosphore et avec un sol de bon état en matière organique pour le Lac Télamin et Sig et pauvre pour le sol de Bechar.

La caractérisation morphologique des spores isolées des sols rhizosphériques de l'olivier révèle la présence de *Glomus* sp, *Acaulospora* sp, *scutellospora* sp et *Entrophospora* sp avec la dominance des *Glomus* sp et *Acaulospora* sp dans les trois stations d'études en nombre et en morphotypes. Le nombre le plus probable MPN est de 49000 p/Kg pour la station de Lac télaimn et de Sig et de 18000p/Kg pour la station de Bechar ce qui reflète la richesse et le bon état biologique des sols.

L'estimation de la mycorhization après un examen microscopique des systèmes racinaires des plants de tomate inoculés par les différents sols, sous conditions contrôlées, a révélé également une forte colonisation par les champignons endomycorhiziens arbusculaires, et cela quel que soit la situation géographique des sites et les paramètres pédo-climatique, comparant aux témoins non inoculés qui ne présentent aucune structure qui révèle une infection mycorhizienne.

Des tests physiologiques sont aussi effectués comme le dosage de la chlorophylle et la teneur relative en eau. A travers cette étude, nous avons constaté l'importance des CMA est leur efficacité et l'effet positif sur le développement de la plante de la tomate.

Mot clefs : *Olea europaea* L, tomate, champignons mycorhiziens CMA, diversité sporale.

Summary

Mycorrhizal fungi are very important in the life of most herbaceous plants.

In Algeria, the tomato occupies a privileged place in the market gardening sector, therefore the knowledge and exploitation of the arbuscular mycorrhizal fungi associated with it could be a tool for its sustainable development.

The pedological analyzes of these three stations show that the soil of Lac Télamin is sandy-loamy with a dominance of sand and that of Bechar is sandy, on the other hand the soil of Sig has a sandy-loamy-clayey texture, all three poor in nitrogen and in phosphorus and with a soil of good organic matter for Lake Telamin and Sig and poor for the soil of Bechar.

The morphological characterization of the spores isolated from the rhizospheric soils of the olive tree reveals the presence of *Glomus* sp, *Acaulospora* sp, *scutellospora* sp and *Entrophospora* sp with the dominance of *Glomus* sp and *Acaulospora* sp in the three study stations in number and morphotypes. The most probable MPN number is 49,000 p/Kg for the Lac télaimn and Sig station and 18,000 p/Kg for the Bechar station, which reflects the richness and good biological condition of the soils.

the estimation of mycorrhization after a microscopic examination of the root systems of tomato plants inoculated with different soils, under controlled conditions, also revealed a strong colonization by arbuscular endomycorrhizal fungi, regardless of the geographical location of the sites and pedoclimatic parameters, comparing to non-inoculated controls which show no structure that reveals a mycorrhizal infection.

Physiological tests are also carried out such as the dosage of chlorophyll and the relative water content. Through this study, we found the importance of CMA is their efficiency and the positive effect on the development of the tomato plant.

Keywords: *Olea europeae* L, tomato, CMA mycorrhizal fungi, sporal diversity.

تعتبر الفطريات الفطرية مهمة جدًا في حياة معظم النباتات العشبية. في الجزائر ، تحتل الطماطم مكانة متميزة في قطاع البستنة السوفية ، وبالتالي فإن معرفة واستغلال الفطريات الفطرية المرتبطة بها يمكن أن تكون أداة لتنميتها المستدامة. تظهر التحليلات البيولوجية لهذه المحطات الثلاث أن تربة بحيرة تيلامين رملية - طفيلية مع هيمنة رمال وأن تربة بشار رملية ، ومن ناحية أخرى فإن تربة سيح لها قوام رملي طيني ، وجميعها فقيرة. في النيتروجين والفوسفور وبتربة من مادة عضوية جيدة لبحيرة تيلامين وسيح والفقيرة لتربة بشار

Glomus sp و Acaulospora sp يكشف التوصيف المورفولوجي للجراثيم المعزولة من التربة الجذرية لشجرة الزيتون عن وجود في محطات الدراسة الثلاث من Glomus sp و Acaulospora sp مع هيمنة Entrophospora sp و scutellospora sp و p / Kg و Sig 18,000 و Lac télémn لمحطة p / Kg الأكثر احتمالاً هو MPN 49,000 حيث العدد والأنماط الشكلية. رقم لمحطة بشار ، مما يعكس ثراء التربة وحالتها البيولوجية الجيدة

كشف تقدير الفطريات الفطرية بعد الفحص المجهرى للأنظمة الجذرية لنباتات الطماطم الملقحة بتربة مختلفة ، تحت ظروف خاضعة للرقابة ، عن استعمار قوي من قبل الفطريات الداخلية الجذرية ، بغض النظر عن الموقع الجغرافي للمواقع والمعلومات المناخية ، مقارنة مع غير- الضوابط الملقحة التي لا تظهر أي بنية تكشف عن عدوى فطرية

كما يتم إجراء الاختبارات الفسيولوجية مثل جرعة الكلوروفيل والمحتوى المائي النسبي. من خلال هذه الدراسة وجدنا أن أهمية تكمن في كفاءتها وتأثيرها الإيجابي على نمو نبات الطماطم CMA

الكلمات المفتاحية: بوغ ، طماطم, L, Olea europeae , الفطريات الجذرية الفطرية

