



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



**Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTE : DES SCIENCES**

**DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES**

## **MEMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : Mlle. BENMAHIA Fatiha & Mlle. BERKANA Samiha**

**DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)**

**FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES**

**OPTION : PROTECTION DES VEGETAUX**

### **Thème**

**Effet de la salinité sur la symbiose  
mycorhizienne chez l'espèce  
*Allium sativum* L.**

**Soutenu devant le jury :**


<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
<b>MALLEM Hamida</b>	<b>MCA</b>	<b>Présidente</b>
<b>AIT SALAH Boubekour</b>	<b>MAA</b>	<b>Examineur</b>
<b>BENCHETTOUH Ahmed</b>	<b>MCA</b>	<b>Encadreur</b>
<b>OTHMANI Rekia</b>	<b>Doctorante</b>	<b>Co-encadreur</b>

Session : Juillet 2022



## REMERCIEMENTS

*Merci Dieu le tout puissant, de m'avoir donné la volonté et le courage d'accomplir de réaliser ce travail. Grand merci à Monsieur BENCHETTOUH Ahmed, et Mme. OTHMANI Rekaia d'avoir bien m'encadrer et m'accorder leurs précieux temps, leurs conseils et leurs aides durant toute la période du travail. J'espère que ce mémoire sera à la hauteur et pourra compenser une partie de mes efforts. Je remercie également les membres du jury M. AIT SALAH Boubekour et Mme. MALLEM Hamida qui m'ont fait l'honneur de présider et d'examen de ce travail de fin d'études. Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*





## *DEDICACES*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes très chers parents A mes frères et sœurs :  
REBIHA, KHEIRA, TAHER, MOUHOUBE,  
FATIMA, ATALLAH et sa femme WAFAA, à mes  
adorables neveux et nièces sans exception.*

*Je tien a le dédier aussi pour tous mes ami(e)s sans  
exception (TOFI, MIRA, HALIMA, OUMHANTE,  
SAMIHA.....) Et a tous ceux qui m'aiment.*

*FATIHA*



## *DEDICACES*

*Je dédie ce mémoire*

*A mes parents : Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler.*

*Que dieu leur procure bonne santé, longue vie et vous*

*Gardez.*

*Chère mère «Saïda »source d'amour, de tendresse, perle de ma vie*

*Cher père «Lekh'dar» la personne le plus digne mon estime et de mon respect.*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, merci infiniment pour tous*

*Les sacrifices que t'es imposé pour m'assurer une belle vie.*

*A mon cher frère : Abd Alhamid*

*À mes sœur : Fatima ; Bakhta ; Maryem ; Khadija ; Nawal ; kawther.*

*A mon fiancé et partenaire de vie : Khelifa Mohamed*

*A mon coup de cœur, mon binôme: Fatîha.*

*A mes grands-parents, mes tantes et tous mes oncles, à mes chers cousins et cousines*

*Pour mes amis proches : Siham; oumhanî ; Salma ; Mira ; Fatma ; Halîma*

*Et à tous qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.*

*Samîha*

**Résumé :**

La salinité est l'un des principaux facteurs abiotiques limitant la croissance végétale. Les champignons mycorhiziens peuvent réduire l'effet de la salinité sur la biomasse végétale en assumant le rôle des régulateurs osmotiques. Cette étude vise à évaluer l'effet des champignons sur la croissance des plants de *Allium sativum* L. cultivés sous stress salin. Les plants ont été arrosés pendant 3 mois avec différentes concentrations salines (0 g/L, 2 g/L, 3 g/L, 5 g/L et 7 g/L de NaCl). Les résultats obtenus ont montré que les champignons mycorhiziens améliorent la biomasse des plants *Allium sativum* L. et contribuent à l'accumulation des régulateurs osmotiques dans les feuilles. L'analyse de la variance sur les régulateurs osmotiques étudiés à savoir ; la proline, les sucres totaux et la chlorophylle a révélé un effet hautement significatif de la salinité sur la teneur de ces paramètres en présence des mycorhizes. Tandis que l'effet de la salinité sur la teneur en glycine bêtaïne a indiqué une différence non significative entre les différents traitements.

Mots clés : *Allium sativum* L ; Mycorhize, NaCl, Régulateurs osmotiques.

**Abstract:**

Salinity is one of the abiotic factors that limit plant growth. The symbiotic fungi can limit the effect of salinity on plant biomass by assuming the role of osmotic regulators. This study aims to evaluate the effect of fungi on the growth of *Allium sativum* L. plants growing in saline media. Plants were watered for 3 months at different saline concentrations (0 g/L, 2 g/L, 3 g/L, 5 g/L and 7 g/L NaCl). The obtained results showed that the sympathetic root fungi improve the biomass of *Allium sativum* L plants and contribute to the accumulation of osmotic regulators in the leaves. The analysis of variance on the studied osmotic regulators: Proline, polysaccharides and chlorophyll showed a high dendritic effect of salinity on the content of these organizations in the presence of symbionts. While the effect of salinity did not show any results on the content of glycine betaine in the leaves.

Key words: *Allium sativum* L ; Mycorrhizae, NaCl, Osmotic regulators

**ملخص:**

الملوحة أحد العوامل اللاحيوية التي تحد من نمو النبات. يمكن أن تحد الفطريات ذات الطبيعة التعايشية من تأثير الملوحة على الكتلة الحيوية للنبات من خلال تولي دور المنظمات التناضحية، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير الفطريات على نمو نباتات *Allium sativum* L التي تنمو في اوساط ملحية. تم سقي النباتات لمدة 3 أشهر بتركيزات ملحية مختلفة (0 جم / لتر ، 2 جم / لتر ، 3 جم / لتر ، 5 جم / لتر و 7 جم / لتر من كلوريد الصوديوم). أظهرت النتائج المتحصل عليها أن الفطريات الجذرية التعايشية تحسن الكتلة الحيوية لنباتات *Allium sativum* L وتساهم في تراكم منظمات التناضح في الأوراق. ان تحليل التباين على المنظمات التناضحية المدروسة : البرولين، السكريات والكلوروفيل أظهرت تأثيرًا معنويًا عاليًا للملوحة على محتوى هذه المنظمات في وجود الفطريات التعايشية. بينما لم يظهر تأثير الملوحة اي نتائج على محتوى غليسين بيتيين في الاوراق.

الكلمات المفتاحية: الثوم المنزلي، فطريات التعايشية، كلوريد الصوديوم، المنظمات التناضحية

# Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Table des figures

Table des tableaux

Table des annexes

Liste d'abréviation

Introduction.....01

## *Partie I : Synthèse bibliographique*

### *Chapitre I : Généralités sur l'Ail (Allium sativum L.)*

I.1-Classification et description botanique.....	03
I.1.1-Classification.....	03
I.1.2-Description botanique.....	04
1.1.2.1- Appareil végétatif .....	04
1.1.2.2- Appareil reproducteur.....	06
1.2- Origine de l'Ail.....	08
1.3- Composition de l'Ail .....	08
1.4- Utilisations et propriétés .....	09
1.5- Cycle de développement .....	09
1.6- Exigences de la culture .....	11
1.6.1- Exigences édaphiques .....	11
1.6.2- Exigences hydriques .....	11
1.6.3- Exigences thermiques .....	12
1.6.4- Besoins d'ensoleillement .....	12
1.6.5- Préparation du sol .....	12
1.6.6- Installation de la culture .....	12
1.6.7- Date de plantation .....	12
1.6.8- Profondeur de plantation .....	12
1.6.9- Plan de rotation .....	13

1.6.10- Fertilisation .....	13
1.6.11- Paillage .....	14
1.6.12- Irrigation .....	15
1.6.13- Maladies et ravageurs.....	15

## ***Chapitre II : Aperçu bibliographique sur la mycorhization***

2.1- Historique.....	19
2.2- Définitions .....	20
2.3- Les type de mycorhize.....	20
2.3.1- Les ectomycorhyzes.....	21
2.3.2- Les ectendomycorhizes.....	22
2.3.3- L'endomycorhize« Les mycorhizes arbusculaires ».....	23
2.4- Classification des champignons endomycorhizes.....	25
2.5- Fonctions du mycorhize.....	25
2.5.1- Un échange d'éléments nutritifs vitaux.....	25
2.5.2- Protection contre les polluants.....	26
2.5.3- Autres fonctions des mycorhizes.....	28
2.5.4- Mécanisme de transfert du phosphore chez les mycorhizes.....	28
2.6- Ecologie des mycorhizes.....	28
2.6.1- Facteur édaphique.....	28
2.6.2- Facteurs climatiques.....	30
2.7- La mycorhization dans la nutrition minérale et la physiologie de la plante hôte.....	30
2.7.1- Nutrition minérale.....	31

## ***Chapitre III : Matériel et Méthodes***

3.1- Provenance des échantillons des sols.....	36
3.2- Matériel végétal (caïeux <i>Allium</i> utilisée).....	37
3.3- Analyse du sol.....	37
3.3.1- Paramètres physiques.....	37
3.3.2- Paramètres chimiques.....	38
3.4- Mycorhization.....	39
3.5- Régulateurs osmotiques.....	39
3.5.1- Chlorophylles.....	39
3.5.2- Proline.....	39
3.5.3- Glycine bétaine.....	40
3.5.4- Sucres totaux.....	40
3.5- Outils statistique.....	40

## ***Chapitre IV : Résultats et discussions***

4.1- Résultats .....	42
4.1.1- Analyses physico-chimiques du sol.....	42
4.1.2- Mise en évidence de l'association mycorhizienne chez <i>Allium sativum</i> L.....	43
4.1.3- Effet de la salinité sur les paramètres de stress salin (Régulateurs osmotiques).....	45
4.1.3.1- Teneur en proline.....	45
4.1.3.2- Teneur en chlorophylle A et B.....	46
4.1.3.3- Teneur en sucres totaux.....	48
4.1.3.4- Teneur en glycine bétaine.....	49
4.2- Discussion.....	50
<b>Conclusion</b> .....	54

### **Références bibliographique**

### **Annexes**

## Liste des figures

<b>Figure 01:</b> Bulbe de <i>Allium sativum</i> et ses caïeux.....	3
<b>Figure 02:</b> Bulbe de <i>Allium sativum</i> et ses caïeux.....	4
<b>Figure 03 :</b> Racines adventives chez <i>Allium sativum</i> .....	5
<b>Figure 04:</b> Tige complète d'Ail.....	5
<b>Figure 05 :</b> Feuilles de <i>Allium sativum</i> L.....	6
<b>Figure 06:</b> Fleur de <i>Allium sativu</i> .....	7
<b>Figure 07:</b> Stades phénologiques de l'Ail. ....	11
<b>Figure 08:</b> plantation d'une gousse d'ail .....	13
<b>Figure 09 :</b> Paillage du sol pour la culture d'ail .....	14
<b>Figure10 :</b> Irrigation d'ail par le goutte-à-goutte .....	15
<b>Figure 11 :</b> Les différe Figure 12 : A)- Coupe transversale d'une ectomycorhize du sapin baumier .....	21
<b>Figure 12:</b> Coupe transversale d'une ectomycorhize du sapin baumier .....	22
<b>Figure 13 :</b> A)-une ectendomycorhizes formée par racine de Larixsp et le champignon E- strin .B)-Coupe transversale dans une ectomycorhize de Pimussp.0 Observée au microscope fluorescent. Le manteau (m), réseau de Hartig, pelletons d'hyphes intra matricielle .....	23
<b>Figure 14:</b> Echange des éléments nutritifs.....	25
<b>Figure 15 :</b> Coupe longitudinale d'un mycorhize d'épiça.....	27
<b>Figure 16 :</b> la région de Remelia (Kaf Mokran) .....	36
<b>Figure 17:</b> Rhizosphère des plantes <i>Retama raetam</i> .....	36
<b>Figure 18:</b> Les différentes concentrations de NaCl.....	37
<b>Figure 19.</b> a) vésicule arbusculaire ; b) hyphe externe.....	44

<b>Figure 20</b> : l'effet des différentes concentrations de NaCl sur la densité symbiotique des champignons mycorhiziens chez <i>Allium sativum</i> .....	<b>45</b>
<b>Figure 21</b> : Les différentes concentrations de la teneur en proline sous l'effet de NaCl chez <i>Allium sativum</i> .....	<b>46</b>
<b>Figure 22</b> : Les différentes concentrations de la teneur de chlorophylle A sous l'effet de NaCl chez <i>A.sativum</i> .....	<b>47</b>
<b>Figure 23</b> : Les différentes concentrations de la teneur de chlorophylle B sous l'effet de NaCl chez <i>A.sativum</i> .....	<b>47</b>
<b>Figure 24</b> : Les différentes concentrations de la teneur de sucres totaux sous l'effet de NaCl chez <i>A. sativum</i> .....	<b>48</b>
<b>Figure 25</b> : Les différentes concentrations de la teneur de GB sous l'effet de NaCl chez <i>Allium sativum</i> .....	<b>49</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01:</b> Les principales maladies de l'ail et les moyens de lutte.....	<b>16</b>
<b>Tableau 02.</b> Les principaux insectes de l'ail et les moyens de leur contrôle.....	<b>16</b>
<b>Tableau 03 :</b> Résultats de l'analyse physico-chimique du sol.....	<b>42</b>
<b>Tableau 04:</b> l'effet des différentes concentrations de NaCl sur la densité symbiotique des champignons mycorhiziens chez <i>Allium sativum</i> .....	<b>44</b>
<b>Tableau 05 :</b> Concentrations de la teneur en proline sous l'effet de NaCl chez <i>Allium sativum</i> .....	<b>46</b>
<b>Tableau 06:</b> Les différentes concentrations de la teneur de chlorophylle A sous l'effet de NaCl chez <i>Allium sativum</i> .....	<b>47</b>
<b>Tableau 07 :</b> Les différentes concentrations de la teneur de chlorophylle B sous l'effet de NaCl chez <i>Allium sativum</i> .....	<b>47</b>
<b>Tableau 08 :</b> Les différentes concentrations de la teneur de chlorophylle B sous l'effet de NaCl chez <i>Allium sativum</i> .....	<b>48</b>
<b>Tableau 09:</b> Les différentes concentrations de la teneur de GB sous l'effet de NaCl chez <i>Allium sativum</i> .....	<b>49</b>

## Liste des abréviations

**%** : Pourcentage

**AM**: Arbuscular Mycorrhizae (Mycorhizes Arbusculaires)

**ANOVA** : *analysis of variance*

**°C** : Degré Celsius

**Ca**: Calcium

**CE** : Conductivité électrique

**CM** : Champignons mycorhiziens

**Cu** : Cuivre

**ECM**: Ectomycorrhizae (Ectomycorhizes)

**°F**: Degré Fahrenheit

**F.A.O**: Food and Agriculture Organization

**GB** : Glycine Bétaine

**g /l** : gramme par litre

**KOH** : Potasse

**MA** : Mycorhize à arbuscule

**MCA** : champignons mycorhiziens arbusculaires

**Mg** : le magnésium

**mM** : milli mol

**MO** : matière organique

**P** : probabilité

**P** : le phosphore

**pH** : Potentiel Hydrogène

**K**: Potassium

**V.A** : Vésicules et Arbuscules

**Zn** : le zinc

## **Table des annexes**

**Annexe 01 :** Tableaux et figures des analyses chimique et physique du sol

**Annexe 02 :** la loi de Phillips et Heyman (1970) afin de connaître tout d'abord le type de mycorhizes présent dans les racines d'Ail

**Annexe 03 :** Tableaux de l'analyse de la variance (ANOVA) des paramètres mesurés.

# Introduction

### Introduction

L'Ail (*Allium sativum* L) est une plante bisannuelle (Rayer, 1869), d'origine de l'Asie et de la Méditerranée (Debassi et al. 2021). Elle appartient à la famille botanique des Alliacées (Birlouez, 2016). Elle est l'un des condiments qui participent au plaisir de la cuisine (Bright, 2014). La partie consommée est le bulbe constitué de caïeux. Ses bulbes offrent d'énormes potentialités notamment sur les plans alimentaire, nutritionnel, économique et médicinal (Maloum et al. 2022). Selon la FAO, la production mondiale en 2001 était estimée à 11 millions de tonnes. Ces chiffres augmentent depuis 2015, atteignant plus de 31 millions de tonnes en 2022.

En Algérie, l'Ail a une importance médicinale et nutritionnelle attrayante pour le peuple algérien. Il faut rappeler que les prix de l'Ail ont connu une hausse importante en 2018 pour atteindre 1300 dinars/kg (pendant l'hiver). La production d'Ail est encore très faible puisqu'en 2017, elle a atteint 12 mille de tonnes avec un rendement de 124.6 qx/ha (Ministère de l'Agriculture, du développement rural et de la pêche, 2018). Les wilayas potentielles en matière de production d'Ail sont Mila, Batna, Biskra, El Oued, Skikda, Médine, Tizi Ouzou, Boumerdes. Cette production est loin de celle mondiale qui atteint parfois un total de 500 qx/ha.

L'une des améliorations qui ont été apportées pour augmenter la production, en particulier celle des légumes, à l'instar des pays développés comme la France en particulier et l'Europe en général, est la technique de fertilisation avec des champignons.

Les résultats ont montré que, dans des conditions contrôlées, l'inoculum fongique était significativement plus efficace, et les champignons du genre *Glomus* se sont révélés utiles, d'où l'intérêt de renforcer les groupes mycorhiziens naturels présents dans les sols agricoles par des apports supplémentaires de champignons mycorhiziens arbusculaires (MCA) pour compenser leur perte. Au champ, l'inoculation mycorhizienne a eu des effets bénéfiques sur la croissance et la productivité des légumes. L'ajout de CMA supplémentaire avec 50% NPK aux taux recommandés donne les meilleurs résultats en termes d'augmentation du rendement (Hamza, 2018).

Aux avantages bien connus des mycorhizes sur la croissance végétale, s'ajoutent plusieurs bénéfiques, notamment pour la survie des plantes, leur biodiversité, l'impact sur la microflore du sol et le potentiel d'agent de réduction des stress tant abiotiques que

## Introduction

---

biotiques (Piché, 2016). L'Alliacés, en particulier quelques espèces du genre *Allium* présentent une association symbiotique mycorhizienne (Chave et al. 2017 ; Julianus et al. 2019).

Cette approche nous amènera à connaître l'effet de la salinité sur les paramètres de stress salin (régulateurs osmotiques) chez *Allium sativum* L d'une part, ainsi qu'à connaître le degré d'effet de la salinité sur la densité fongiques à l'intérieur des cellules racinaires de cette plante et de voir à quelle association symbiotique obéit elle ?

Pour répondre à ces hypothèses, notre travail sera effectué en quatre chapitres:

- I- Généralités sur *Allium sativum* L;
- II- Aperçu bibliographique sur la mycorhization;
- III- Matériel et méthodes;
- IV- Résultats et discussion.

# Chapitre I

---

**Généralité sur l'ail  
(*Allium Sativum* L.)**

## 1.1-Classification et description botanique

Le nom scientifique de l'Ail commun est *Allium sativum* L., du celtique, l'Ail signifie « brûlant » en raison de ses propriétés botaniques et de la saveur de son bulbe. Le sativum signifie « cultivé » (Girre, 1980).

### 1.1.1- Classification

La classification taxonomique du genre *Allium* est la suivante (Goetz, et al., 2012) :

Règne : *Planta*

Sous règne : *Tracheobionta*

Embranchement : *Spermatophytes*- Phanérogames = Plante à graines

Sous embranchement : *Angiospermes* = Plantes à fleurs

Division : *Mangnoliphyta*

Classe : *Liliopsida*– monocotyledonae

Sous classe : *Liliidae*

Ordre : *Aspogales*–Liliales –Amygdales

Famille : *Alliaceae*–Liliaceae

Sous famille : *Allioidaea*

Genre : *Allium*

Espèce : *Allium sativum* L., 1753

Il y a deux types de variétés de l'Ail cultivées au pays de l'Afrique de nord. L'une s'appelle *Allium sagittatum* Kunz, représenté par *Roja*, *German*, *Red*, et *Valencia*; et l'autre *Allium vulgare* Kunz, représenté par *California Early* et *California Late* (fig. 01) (Alaoui, 2005).



Figure 01: Bulbe de *Allium sativum* et ses caïeux (Originale, 2022)

### 1.1.2- Description botanique

C'est une plante herbacée à bulbe. Elle est vivace par l'intermédiaire d'un bulbe ou « tête d'ail » ou « drogue ». Le feuillage comprend une tige centrale de 25 à 100 cm de hauteur (Mahdi, 2020) dans un climat tempéré, cependant, elle peut dépasser cette hauteur (jusqu'à 150 cm). Elle sort de la partie haute du bulbe. C'est en fait une fausse tige qui est formée par l'emboîtement entre elles des gaines foliaires des feuilles qui partent du plateau du bulbe. Elle a une odeur caractéristique, et une forme arrondie ou ovale, d'un diamètre d'environ 4 cm, constitué d'un plateau dur formé de caïeux « gousses » en nombre de 8 à 20 (Tescher et al., 2005). Ces gousses rassemblent 12 à 16 bulbilles.

#### 1.1.2.1- Appareil végétatif

##### a. Bulbe

Un bulbe d'ail (tête) est une tige souterraine généralement de quatre à huit centimètres de diamètre, blanche à rosâtre ou violette. Il se compose de nombreux bulbes séparés (8 à 25) appelés caïeux ou gousses. Ces dernières sont enveloppées des gaines en forme de papier. Bien que les gousses d'ail aient une texture ferme, elles peuvent être facilement hachées ou écrasées (Mahdi, 2020).



Figure 02: Bulbe de *Allium sativum* et ses caïeux (Originale, 2022)

##### b- Racines

Les racines sont les racines adventives qui prennent naissance sous le bulbe, au niveau du plateau correspondant à la tige souterraine (Boukeria, 2017). L'enracinement de

l'ail est peu profond (60 cm du sol). Les racines sont relativement grosses et les poils absorbants sont quasiment inexistantes (Boukeria, 2017).

Les racines émergent de la partie haute du bulbe. Elles mesurent 40 cm de haut en moyenne. En fait, c'est une fausse tige qui est formée par l'emboîtement entre elles des gaines foliaires des feuilles qui partent du plateau du bulbe (Colin, 2016). Son enracinement est peu profond (60 cm du sol). Elles sont relativement grosses et les poils absorbants sont quasiment inexistantes (Boukeria, 2017).



**Figure 03 : Racines adventives chez *Allium sativum* (Tredoulat)**

### **c- La tige**

La tige émerge de la partie haute du bulbe. Elles mesurent en moyenne 40 cm de haut, mais elle peut atteindre une hauteur de 150 cm. En fait, c'est une fausse tige qui est formée par l'emboîtement entre elles des gaines foliaires des feuilles qui partent du plateau du bulbe (Colin, 2016).



**Figure 04: Tige complète d'Ail (Marie-pascale, 2019)**

#### d- Les feuilles

Les feuilles sont alternes et glabres, engainantes à la base sont réduites au pétiole qui est élargi en gaine à sa base de façon tubulaire, plates, longues et étroites, mesurant 1 à 2,5 cm de large et 30 à 60 cm de long (Boukeria, 2017). On en compte entre 2 et 10 feuilles. Le froissement des feuilles dégage une odeur typique caractéristique.



Figure 05 : Feuilles de *Allium sativum*L. (Originale, 2022)

#### 1.1.2.2- Appareil reproducteur

##### a- L'inflorescence

Il s'agit d'une ombelle simple sphérique, protégée par 2 bractées soudées appelées spathe. Cette spathe est membraneuse, elle enveloppe l'inflorescence avant la floraison puis s'ouvre sur un côté. L'ombelle apparaît à l'extrémité d'une hampe pleine (ou tige florale), d'abord enroulée en crosse, puis qui se redresse et devient rigide (Boukeria, 2017). L'inflorescence n'apparaît que rarement chez la plus part des cultivars, et certaines variétés d'ail ne produisent pas de hampe florale. La multiplication végétative permet de faire apparaître à l'extrémité des hampes des bulbilles soit à la place des fleurs, soit à la fanaison de la fleur. Ce sont les petits caïeux aériens enfermés d'abord dans une capsule (Allen, 2009). Ces bulbilles sont capables de redonner des têtes d'ail lorsqu'elles s'enracinent dans le sol, et participent ainsi à la survie de l'espèce. L'ombelle peut être composée à la fois de

fleurs et de bulbilles, ou uniquement de bulbilles. Le nombre de ces bulbilles et leur couleur est en fonction de la variété d'ail (Allen, 2009).

### b- Les fleurs

Ce sont des fleurs régulières, et hermaphrodites, de couleur blanche à rose. Il existe néanmoins des exceptions, notamment chez l'ail d'ornement où les fleurs peuvent être violettes, ou jaune d'or vif.

Chaque fleur est composée de :

- ✓ Périanthe à 6 sépales libres : 2 verticilles de 3 sépales
- ✓ 6 étamines libres répartis sur 2 verticilles
- ✓ Gynécée formé de 3 carpelles soudés donnant un ovaire trilobulaire et supère. Le stylet est unique et trilobé. Chaque loge de l'ovaire contient 2 ovules ou plus de forme anatropes ou campylotropes (Botineau, 2010).

La formule florale est donc :  $(3+3) T + (3+3) E + 3 C$ .



Figure 06: Fleur d'*Allium sativum* (Waste magazine)

### c- Le fruit

Le fruit chez l'ail est une capsule se divise le long de deux ou plusieurs coutures, est loculicide à 3 loges. Cependant, il n'est produit que très rarement au profit des bulbilles, en effet l'espèce privilégie la multiplication végétative à la reproduction sexuée pour assurer sa survie (Botineau, 2010).

## 1.2- Origine de l'Ail

Les premières traces de l'utilisation de l'ail remontent à plus de 5000 ans (Krčmár, 2008) (Senninger, 2009), Son origine est l'Asie central (Inde, Afghanistan, Ouest de la Chine, Russie), et il est diffusé à travers le monde par le commerce et les colonisations (Tindal, 1986). Ce bulbe est sans doute l'un des légumes les plus anciennement cultivés par l'homme qui l'utilisait autant pour son alimentation que pour sa santé. Un lointain ancêtre, *Allium longicuspis*, croît encore dans les steppes sauvages en Afghanistan et en Iran. Du côté de l'Europe et de l'Asie, l'ail des ours, *Allium ursinum*, se rencontre aussi à l'état sauvage. Cependant, l'ail cultivé, *Allium sativum*, ne dérive pas directement des espèces sauvages, mais plutôt d'une très lente évolution génétique issue d'un travail de sélection par l'homme. Son nom viendrait du mot celtique « all » qui signifie chaud, brûlant. Filière des plantes médicinales biologiques du Québec. *Allium sativum*, Guide de production sous régie biologique [en ligne]. Edition 2009. Disponible sur : «<http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/guide-ail.pdf>» (Consulté le 20.10.2013)

## 1.3- Composition de l'Ail

En nutrition humaine, la valeur énergétique de l'ail est de 138,7 Kcal/100g (Derabla et Zamouch, 2016). La gousse d'ail contient de l'eau (65%), des polysaccharides de stockage (28%, principalement des fructanes), des protéines (2%) dont essentiellement des enzymes (alliinase, peroxydases, etc.), des acides aminés libres (1,2%), et de nombreux composés organo-soufré (2,3%) responsables de l'odeur et du goût caractéristique de l'ail.

Certaines vitamines (A, B1, B2, et C), et riche aussi en élément minéraux (phosphate, potassium, sulfure, zink, calcium, magnésium) et en oligo-éléments (sélénium et germanium) (Meredith, 2008).

Outre ces micronutriments, l'ail contient également de nombreux composés actifs sur le plan de la santé et en particulier des composés soufrés, tels que l'alliine, l'allicine et l'ajoène. Il renferme également des anti-oxydants, tels que des flavonoïdes (composés poly phénoliques), des tocophérols (vitamine E) susceptible de jouer un rôle au niveau de la prévention des maladies cardiovasculaires et des cancers. Le broyage d'une gousse d'ail de 3g provoque la libération d'une enzyme « alliinase ». qui transforme immédiatement

l'alliine en allicine, qui est la substance odorante caractéristique de l'ail frais (Meddine et Yessaad, 2017).

#### **1.4- Utilisations et propriétés**

L'Ail est cultivé depuis des milliers d'années autant pour une utilisation culinaire que médicinale. Il compte parmi les plantes médicinales les plus anciennes (Baba Aissa, 2011).

En raison de son composant biologique actif allicine et de son dérivé, l'ail a été utilisé comme médicament pour guérir un large éventail de maladies et d'affections liées au cœur et au système sanguin, notamment l'hypertension artérielle, l'hypercholestérolémie, les maladies coronariennes, les crises cardiaques et " durcissement des artères » (athérosclérose) comme le prononcent Mikaili et al. (2013). l'ail est un anti inflammatoire, antiparasitaire, antiseptique intestinal, antispasmodique, bactéricide (avec action antibiotique), coricide, dépuratif, diurétique, expectorant, fébrifuge, hypoglycémiant, hypotenseur, stimulant, sudorifique, tonique, vermifuge...

En agriculture organique, l'ail présente aussi un effet insecticide à divers caractéristiques (naturel, écologique, biodégradable, non toxique, fortement soluble en eau). L'utilisation des extraits d'ail en combinaison avec d'autres extraits comme pesticide naturel est effectif pour le contrôle de maladies et d'insectes (Morton, 2006 ; Diniz et al., 2006 ; Prabu, 2008 in Boukeria, 2007). Et aussi, il est utilisé comme fongicide et répulsif général (1Kg d'ail/100L d'eau) et l'utiliser en pulvérisation, surtout contre le cloque du pêcher.

Il peut être associé au chou, à l'aubergine et à la tomate, par contre, il ne doit pas être planté près de légumineuses comme le pois et les haricots (Filière des plantes médicinales, biologie du Québec, 2009)

#### **1.5- Cycle de développement**

Les différentes phases du développement d'une plante sont divisées en dix stades principaux numérotés de 0 à 9 et des stades secondaires pour plus de précision.

L'ail est une plante bisannuelle caractérisée par 10 stades principaux notés de 0 à 9 et des stades secondaires pour plus de précision, selon l'échelle BBCH, les différentes

phases du développement d'une plante sont divisées en dix stades principaux numérotés de 0 à 9. Compte tenu de la diversité des espèces, certains stades peuvent être inversés voire absents (Feller et al. 1995) (Fig. 07).

✓ **Stade principal 00 (Germination, bourgeonnement)** : 20 à 30 jours : le bulbe après une période de repos végétatif laisse apparaître des racines ensuite l'apparition d'une pousse verte, c'est la germination du caïeu. Le bulbe nécessite une période de 6 à 8 semaines de températures fraîches après la plantation pour lever cette dormance. La température la plus efficace se situe aux alentours de 7,5°C (Messiaen et al., 1993).

✓ **Stade principal 01 (Développement des feuilles « tige principale »)** : se caractérise par l'émergence de la Première feuille (>3 cm) visible ; deuxième feuille (>3 cm) ; troisième feuille ; jusqu'à la neuvième feuille ou davantage de feuilles visibles. Le nombre final de feuilles de variétés d'automne est de 13 à 14 feuilles et 10 à 12 feuilles pour les variétés d'hiver. L'apparition des feuilles est due à la présence d'humidité dans le sol (Omafra, 2002) et de la lumière, car l'ail est une plante héliophile (Maurice, 2015).

✓ **Stade principal 04 (Développement des organes végétatifs de récolte)** : La base des feuilles commence à grossir et à s'allonger pour former un bulbe. Les feuilles commencent à faner dans 10 % des plantes.

✓ **Stade principal 05 (Apparition de l'inflorescence)** : Le bulbe continue son allongement et la hampe florale a atteint sa longueur finale, la gaine est fermée puis elle s'éclate, les premiers pétales sont visibles et les fleurs sont toujours fermées.

✓ **Stade principal 06 (Floraison)** : Les premières fleurs sont ouvertes (sporadiquement) jusqu'à pleine floraison ; puis la floraison s'achève et la majorité des pétales sont tombés ou desséchés, c'est la fin de la floraison.

✓ **Stade principal 07 (Développement du fruit)** : Les premiers fruits (capsules) sont formés, toutes les capsules sont développées et les graines sont claires.

✓ **Stade principal 08 (Maturation du fruit et des graines)** : C'est le début de la maturation, les premières capsules s'éclatent et les graines sont devenues noires et dures.

✓ **Stade principal 09 (Sénescence)** : En fin de cette phase végétative, l'extrémité des feuilles jaunit puis se dessèche (Espagnacq, 1988). Le poids du bulbe augmente dès que la croissance des parties aérienne s'arrête, les premières capsules s'éclatent et les graines sont noires et dures (la maturité complète).

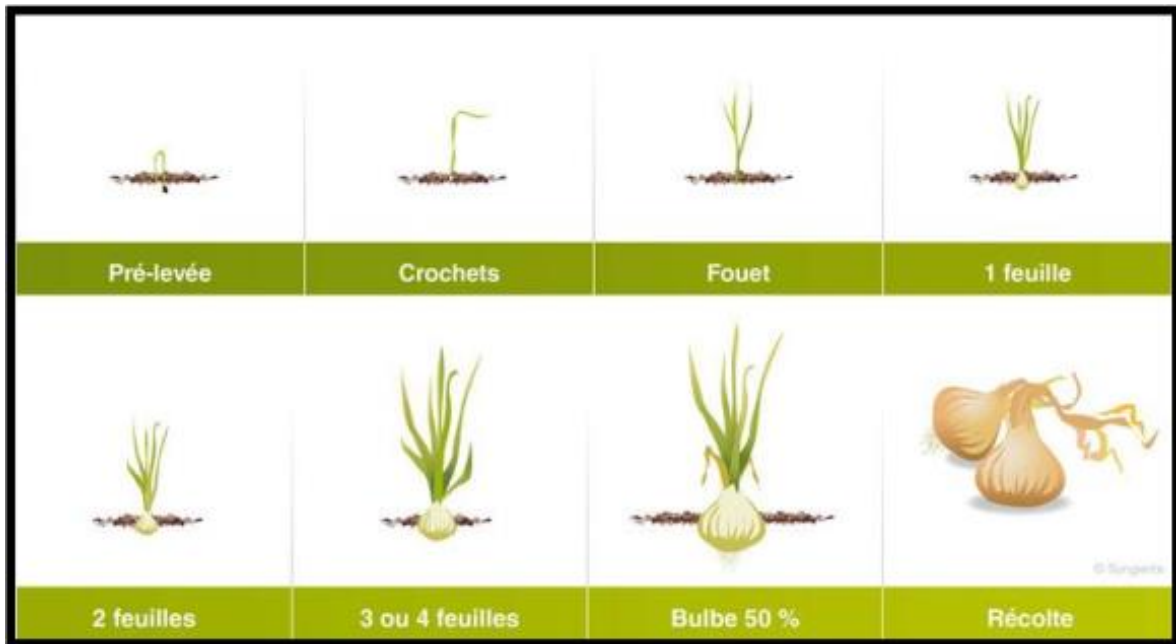


Figure 07: Stades phénologiques de l'Ail (Feller et al. 1995)

## 1.6- Exigences de la culture

### 1.6.1- Exigences édaphiques

La culture de l'ail se fait dans une large gamme de sols, mais préférentiellement des sols légers, bien drainés, riches en matière organique et qui possèdent une bonne capacité à retenir les éléments nutritifs ainsi que l'humidité. Les sols lourds ne sont pas recommandés puisqu'ils ont tendance à durcir lors des périodes sèches et à limiter l'expansion des bulbes qui prennent une forme irrégulière. Les sols sableux et très légers exigent une régulation de culture plus rigoureuse afin d'assurer le maintien de la fertilité des sols et l'humidité nécessaire. Le PH idéal se situe entre 6,5 et 7,0 (Omafra, 2002).

Salinité : 1,90 à 3,2 g / l (3 à 5 mmhos/ cm-1) Il résiste bien au gel et possède un bon enracinement en conditions difficiles tels que le froid et la sécheresse (Allen, 2009a).

### 1.6.2- Exigences hydriques

Les exigences en eau sont estimées à 600 à 700 mm (Lemma et Hearth, 1994). Les besoins sont importants durant la période végétative de la plante et au moment de la formation des bulbes (bulbaison), car un stress hydrique entraîne une perte de rendement (Omafra, 2002). Le stress hydrique peut augmenter la teneur en protéine et conduire à une maturité précoce par la réduction de la durée de la période de remplissage (Si Bennasseur, 2005).

### **1.6.3- Exigences thermiques**

Les caïeux peuvent tolérer le gel jusqu'à -18°C, mais il est important que l'endroit de la plantation bénéficie d'une bonne couverture de neige pour assurer un bon taux de survie (Omafra, 2002). La levée de dormance a une température efficace de 7.5°C, mais cette valeur peut ne pas représenter l'optimum pour tous les groupes (Messiaen et al., 1993). Le « zéro végétation » commence à partir de 97°jours pour les variétés d'automne à 100°jours pour les variétés du printemps (Espagnacq, 1988).

### **1.6.4- Besoins d'ensoleillement**

L'ail est une plante héliophile, l'exposition de la parcelle est importante puisque l'ail a besoin d'ensoleillement (Maurice, 2015).

### **1.6.5- Préparation du sol**

Il est préférable de commencer la préparation du sol, l'année précédente. Travailler le sol seulement quand il est assez sec pour qu'il n'adhère pas aux outils. Alaoui, S. B. Référentiel pour la Conduite Technique de l'ail (*Allium sativum*).

### **1.6.6- Installation de la culture**

Les semences d'ail doivent être stockées sous forme de bulbe entier, sinon les girofles se détériorent rapidement. Le bulbe doit être fissuré juste avant la plantation. Dans le cas où le producteur compte utiliser des bulbes produits sur sa propre exploitation, il est recommandé qu'il leur laisse plus de temps pour mûrir que ceux qui sont destinés à la vente dans la mesure où cette pratique facilite la fissuration des bulbes au moment du semis.

### **1.6.7- Date de plantation**

La date de plantation pour une culture d'ail récoltée au printemps est Octobre Novembre, alors que pour celle récoltée en fin été-début automne, la plantation des caïeux doit avoir lieu en Décembre -Janvier.

### **1.6.8- Profondeur de plantation**

Il est important de planter les caïeux avec la partie pointue vers le haut, à une profondeur 3 cm. En terrain humide et lourd, on peut surélever la culture en formant un

petit monticule de terre (billon). Les bulbes doivent être plantés en plaçant le point de croissance juste au-dessous de la surface du sol, c'est-à-dire entre 2,5 et 5 mm (Fig.08)



Figure 08: plantation d'une gousse d'ail (Mahr, 2016)

### 1.6.9- Plan de rotation

Pour éviter l'épuisement des sols, et le développement de maladies, Une rotation de culture diversifiée d'environ 5 ans est nécessaire. L'ail s'insère bien entre la culture des légumes qui ne font pas partie de la famille des Liliacées (oignon, poireau, échalote, etc.). Il peut être planté après une culture de pommes de terre ou de céréales protéagineuses (soya, pois) et il est un bon précédent pour une céréale ou un légume feuille. Les engrais verts sont un atout, car ils contribuent à stimuler l'activité biologique responsable de la bonne circulation des éléments nutritifs. Les cultures de la famille des Brassicacées (chou, moutarde) peuvent contribuer à enrichir la teneur en soufre de la couche arable. (Filière des plantes médicinales biologiques du Québec, édition 2009)

### 1.6.10- Fertilisation

Pour que la production de l'ail soit optimale, il est conseillé d'améliorer la fertilité du sol pendant une période allant d'une à deux années avant son installation. Les besoins en éléments minéraux majeurs se résument à :

Le phosphore permet le développement des racines et l'établissement de la plante au début de son cycle de croissance. C'est un « engrais starter » (Si Bennasseur, 2005). Il doit être appliqué ou disponible au moment de la plantation. Les quantités recommandées peuvent varier entre 112 et 125 kg/ha de Phosphate (Oregon State University, 2004), qui est apporté en deux fois, au stade 2 et 3 feuilles et un mois plus tard (Si Bennasseur, 2005). Le potassium permet le développement du bulbe et au stockage des glucides, les doses recommandées peuvent atteindre jusqu'à 168 kg de  $K_2O$  /ha (Oregon State University,

2004). Il est apporté en deux fois, au stade 2 et 3 feuilles et un mois plus tard (Si Bennasseur, 2005). L'azote intervient sur le développement foliaire, augmente le nombre de caïeux par bulbe, le rendement, le taux de sucres des caïeux (Bachmann, 2008). est utilisé au début du printemps, lorsqu'il commence à croître, deux ou trois fois à trois semaines d'intervalle jusqu'à quatre à six semaines avant la récolte (Fischer G, 1995). La quantité totale d'azote qui doit être apportée dépend du type de sol, du précédent cultural, de la teneur du sol en matière organique et des conditions climatiques caractérisant la saison de croissance. (Alaoui, S. B. Référentiel pour la Conduite Technique de l'ail (*Allium sativum*). Généralement l'ail a besoin de 56 à 110 kg d'azote par hectare. Le reste de l'azote doit être fractionné en 2 à 3 applications à un intervalle de 3 semaines (Fischer G, 1995).

#### **1.6.11- Paillage**

Les racines et pousses d'ail peuvent tolérer des conditions de gel à condition qu'aucune baisse soudaine de température ne se produise. Par conséquent, dans les trois à cinq semaines suivant la plantation, les rangées doivent être recouvertes d'une couche de trois à quatre pouces de paillis de paille sans graines de mauvaises herbes pour se modérer en hiver et minimiser les fluctuations excessives des températures en hiver et au début du printemps. Ce paillis aidera également à contrôler les mauvaises herbes pendant la saison de croissance. Le paillis peut être enlevé au printemps après la menace de gel dur, généralement la deuxième semaine d'avril. Les pousses d'ail peuvent tolérer des températures de l'air aussi basses que 20 ° F sans dommage. La mort des plantes, plusieurs pousses et un mauvais développement des bulbes peuvent survenir si les bulbes et les pousses sont exposés à des températures inférieures à 10°F. Certains cultivateurs enlèvent complètement le paillis au printemps pour permettre au sol de se réchauffer plus rapidement, puis retournent le paillis lorsque les pousses ont atteint environ six pouces grand ; d'autres laisseront le paillis en place pour minimiser la pression des mauvaises herbes et conserver l'humidité (Carl Rosen, 2011)



Figure 09 : Paillage du sol pour la culture d'ail (Meddine et Yessaad, 2017)

### 1.6.12- Irrigation

L'ail est sensible au stress hydrique durant tout son cycle. Cependant, les stress hydriques, spécialement pendant la période de floraison et du développement des bulbes causent des réductions de rendements plus importants. L'irrigation doit être arrêtée dès l'apparition des symptômes de maturité. Cette pratique rend facile l'opération de récolte et réduit le potentiel de détérioration et 24 détachement des feuilles externes couvrant les bulbes. Pour la majorité des sols, approximativement 25 mm d'eau/semaine sont nécessaires en moyenne pendant le cycle de l'ail, où des apports d'au moins 50 mm/semaine sont recommandés pendant les périodes de grande chaleur et en absence de pluie. Les meilleurs moments pour apporter les irrigations sont tôt le matin ou en mi-après-midi, pour permettre que le feuillage sèche avant la tombée de la nuit (Bennasseur, 2005).



Figure10 : Irrigation d'ail par le goutte-à-goutte (Meddine et Yessaad, 2017)

### 1.6.13- Maladies et ravageurs

L'ail peut être touché par diverses maladies ou prédateurs. La plupart de ces maladies touchent également les autres *Alliums* et leurs responsables peuvent survivre

plusieurs années dans le champ, d'où l'intérêt de la rotation des cultures. Les différents types de dégâts pouvant être observés sur l'ail ainsi que leurs causes possibles sont présentés dans (Tableau.01 et 02). Il est important de noter qu'un symptôme n'est pas toujours dû à un ravageur ou à une maladie, d'autres phénomènes pouvant modifier l'aspect habituel des plantes. Compte tenu de la biologie de certain bio agresseur, les dégâts peuvent survenir à différentes étapes du cycle de la plante : par exemple en cours de conservation, en début de culture, puis en fin de culture (Si Bennasseur, 2005).

**Tableau 01. Les principales maladies de l'ail et les moyens de lutte.**

<b>Maladie</b>	<b>Symptômes</b>	<b>Traitement</b>
<b>Charbon couvert et nu</b>	Apparition de stries étroites, linéaires de couleur jauneverdâtre sur les feuilles.	Raxil 025 FS ; Raxil 2 PS ; Vitavax 200 FF
<b>Charbon nu</b>	Les premiers symptômes de la maladie apparaissent sur les cotylédons et les nouvelles feuilles sous forme de lésions longitudinales, vésiculeuses, noirâtres à reflets argentés et contenant les fructifications du champignon. Les plantules meurent souvent avant la levée.	Mettre les girofles d'ail dans une eau dont la température est située entre 51 et 53 C pour tuer l'agent causal avant le semis. Utilisez Raxil 025 FS ; Raxil 2 PS ; et Vitavax 200 FF en traitement curatif.
<b>Helminthosporiose</b>	Il apparaît des taches sur les feuilles qui sont longues, étroites et d'une couleur jaune. Ensuite, ces taches se nécrosent et provoquent le découpage du limbe. Les plantes se développent alors très difficilement.	Agroneb 80
<b>La rouille</b>	Les feuilles et les bulbes attaqués par les champignons sont tachetés de jaune orangé et parfois se dessèchent.	Pulvériser à titre préventif de la bouillie bordelaise.

Tableau 02. Les principaux insectes de l'ail et les moyens de leur contrôle.

<b>Insecte</b>	<b>Symptômes</b>	<b>Traitement</b>
<b>La mouche de l'oignon</b>	Plantes flétries, les feuilles ont du mal à sortir et s'enroulent en se tordant.	Il est conseillé de traiter les semences d'ail à l'aide des produits suivants : Furadan, Carbofuran, ou Carbofuran + Captan, à la dose de 40 g/kg de semences. Ceci est plus économique que les traitements en pleine végétation et plus bénéfique pour l'environnement.
<b>La teigne</b>	Perforation et amincissement longitudinaux des feuilles, décoloration du feuillage et pourriture de la plante.	Ne pas planter deux années de suite l'ail dans la même parcelle, ni après les oignons, ou poireaux.

# Chapitre II

---

**Apreçu bibliographique  
sur la mycorhization**

## 2.1- Historique

Depuis le XIX<sup>ème</sup> siècle, les rhizomes font l'objet d'études de descriptions et de répartition sur le globe. Le mot "symbiose" fut utilisé pour la première fois par Frank (1877) pour décrire la symbiose entre différents organismes (Louisanna et al. 2003). De Barry (1887) a ajouté l'idée d'un gradient dans la relation entre hôte et parasite qui peut être destructeur ou tolérant. C'est encore Frank (1885) qui décrivit les ectomycorhizes des arbres forestiers de la zone tempérée et les interpréta en termes de symbioses (Garbaye, 2013).

Au cours de la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle, Elias Melin dérivait les ectomycorhizes et en démontrant expérimentalement les relations étroites qui existent entre de nombreuses essences forestières et une large gamme de champignons supérieurs de la forêt, surtout des basidiomycètes, ainsi que quelques ascomycètes. À cette même époque, A.B. Hatch, aux Etats-Unis, a mis en évidence le rôle incontestable des ectomycorhizes dans la nutrition minérale des arbres forestiers.

Il faut cependant attendre le milieu du 20<sup>e</sup> siècle pour qu'en Angleterre, à Oxford, John-Laker Harley et son groupe démontrent les mécanismes physiologiques par lesquels les champignons obtiennent leur carbone et leur énergie, à partir des racines des arbres qu'ils colonisent. Ils ont également illustré comment les mycorhizes interviennent dans l'absorption des minéraux du sol. À la même époque et dans ce même pays, ce fut au tour de Barbara Mosse de mettre en lumière le rôle des MA chez une majorité d'espèces végétales du monde, y inclus la presque totalité des plantes agricoles.

Fortin et al. (2015) a noté qu'au début des années soixante, certains chercheurs ont déduit que la symbiose mycorhizienne constitue un phénomène fondamental et universel dans le monde vivant.

Ces dernières années, de nombreuses études ont clairement démontré l'intérêt scientifique et pratique de cette symbiose pour toutes les plantes du monde, aussi bien dans les écosystèmes naturels qu'artificiel (Piché et al. 2016).

Il est actuellement admis que la symbiose fongique est une association obligatoire et mutuellement bénéfique entre une racine de plante et un champignon, et les avantages pour

les deux partenaires devraient dépasser les coûts d'exploitation. Ceci est vrai pour la majorité des plantes terrestres et toutes les plantes ligneuses, y compris les arbres forestiers en particulier (Lauth, 2013).

## 2.2- Définitions

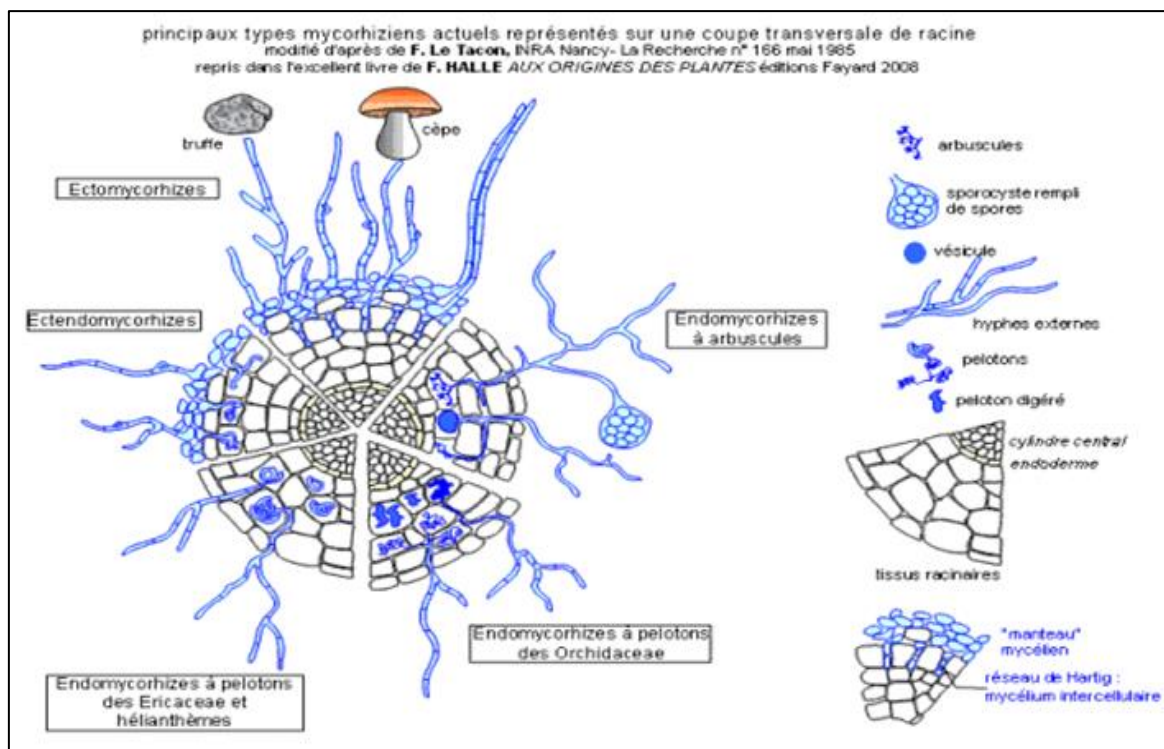
La mycorhization est l'association symbiotique d'un champignon avec les racines d'une plante. En d'autres termes c'est une racine colonisée par un champignon mycorhizien qui en a modifié la morphologie. En effet, le champignon entoure d'un épais tissu de filaments (appelé le mycélium) l'extrémité des radicelles (Egli et Brunner, 2002). C'est ainsi qu'apparaît le manteau fongique (Guéguen et Garon, 2021). Le mot « mycorhize » signifie donc une collaboration entre un champignon et les racines d'une plante (Zougari-Elwedi et al. 2012). En fait, cette association résulte d'un commun accord entre la plante et le champignon (Haddouche, 2017).

Elle repose sur le fait que les deux partenaires retirent des avantages de cette liaison. Selon Fitiavana (2015), le champignon retire des sucres de la plante alors que la plante a accès à des minéraux et de l'eau provenant des champignons.

Les champignons ne sont pas tous des champignons mycorhizien. De fait, certains ne forment pas de symbiose avec les plantes (Egli et Brunner, 2002). On parle alors de champignon saprophytes ou pathogènes, selon qu'ils se nourrissent de cellules végétales mortes ou vivantes (Suty, L2015). Tout comme ces autres champignon, les mycorhiziens ont une forme dite mycélienne, constituée d'un réseau d'hyphes qui ressemble en fait à un amas de filament (Ponge, 1988). Ces hyphes leur permettent de parcourir des distances beaucoup plus longues que les racines des plantes, ce qui leur donne accès à des nutriments inaccessibles par les plantes de nutriments. Cette association, ou symbiose, se il existerait sept ou huit groupes de champignons mycorhiziens, chacun étant caractérisé par un type de mycorhize bien particulier (Egli et Brunner, 2002).

## 2.3- Les type de mycorhize

Le schéma suivant figure les différents types de la mycorhization.



Source: Le tacon, 1985

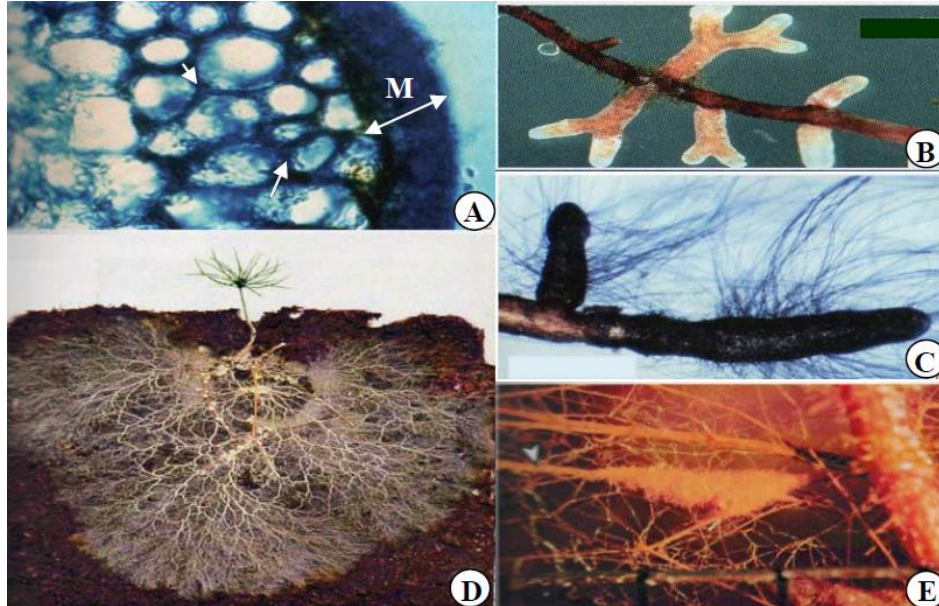
Figure 11 : Les différents types de la mycorhization

### 2.3.1- Les ectomycorhizes

Ce type de mycorhize concerne 13 à 15% des plantes vasculaires et se rencontre chez une grande majorité des Gymnospermes et un grand nombre d'Angiospermes, Dicotylédones principalement chez les espèces ligneuses forestières (Nouaim & Chaussod, 1996). Les partenaires fongiques sont des champignons supérieurs généralement macroscopiques Ascomycètes et surtout basidiomycètes (Takilt, 2017).

Les ectomycorhizes sont formées par trois composantes essentiels: a)La gaine ou manteau fongique qui entoure les radicules en modifiant leur morphologie, ainsi les poils absorbants sont inexistant (Louni & Madani, 2017) (Planche 2, B), (b). Les hyphes entre les espaces des cellules subéreuses et des cellules périphériques du parenchyme corticale constituant le réseau de Hartig (Benmazari, 2008) (Planche 2, A), (c) un réseau d'hyphes extra radiculaires se développe à partir du manteau fongique dans la rhizosphère de façon très importante appelé réseau extra matriciel (Boukhelifa & Mahmoudia, 2020) (Planche 2:C.D) (Mosse,1973; Smith et Read, 2010). Dans le réseau mycélien l'espèce fongique impliquée forme parfois des cordons mycéliens constitués d'hyphes accolés les uns aux

autres constituants des rhizomorphes associés ou non à des sclérotés, structure résultant de l'organisation d'hyphes mycéliens en pseudo tissu (Planche 2:F) (Peterson et Massicotte, 2004). Ce réseau extra matriciel constitue une partie importante du système mycorhizien car il permet une exploration très étendue du sol et par la même occasion augmente la surface d'échange du système racinaire (Mosse, 1981).



**Figure 12 :** A)- Coupe transversale d'une ectomycorhize du sapin baumier coloré Au bleu de trypan par la technique de Philips et Hayman,1970 : le manteau à l'extérieur (M) et le réseau de Harting (flèches). B)-ectomycorhize dichotomique du pin. C)-ectomycorhize simple noire formée par *Le Cenococcumgeophilum* (Fortin et *al.*, 2008). D)-réseau extramatricielle (Read , 1984). E)- formation d'un sclérote (tête de flèche) dans le rhizomorphe (Peterson et *al.*, 2004)

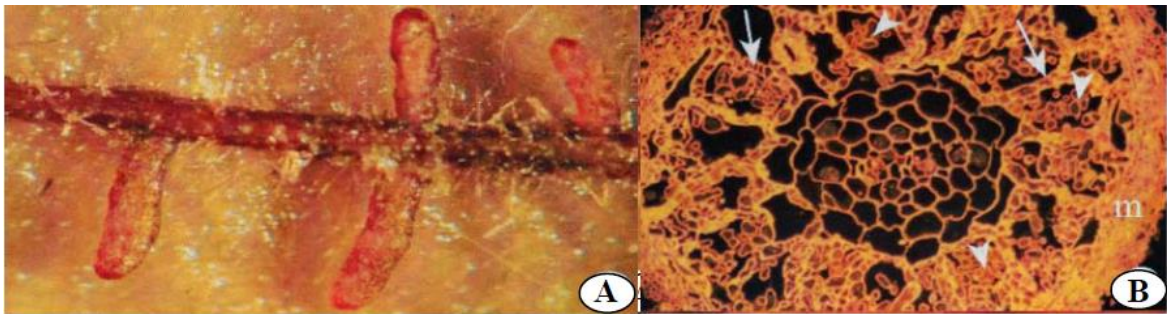
### 2.3.2- Les ectendomycorhizes

L'ectendomycorhize présente à la fois les caractères structuraux des ectomycorhizes et des endomycorhizes (Debbi & Guerrouche 2019). Cependant elle présente une morphologie semblable à une ectomycorhize simple (Fig.3 :B). Ce type de mycorhize a été observé principalement dans deux genres de la famille des pinacées *Pinus* et *Taxus* (Peterson et Massicotte, 2004). Cependant Founoune (2001) a également observé chez d'autres genres tels que *Casuarina*, *Eucalyptus*, *Populus*, *Quercus* et *Acacia* (principalement d'origine australienne).

Les champignons qui forment ce type de mycorhize sont pour certains classés dans les ordres des Pezizales (*Wilcoxina*, *Sphaerosprella*) et des Leotiales (*Phialophora*,

choriduim) de la classe des ascomycètes. D'autres sont regroupés dans un groupe nommé E-striant dont on ne connaît pas les stades sexués (Peterson et Massicotte, 2004) raison pour laquelle certains les classent parmi les deutéromycètes (Fortin et *al.*, 2008).

La plupart de ces espèces fongiques forment des ectomycorhizes, avec un certain nombre d'espèces de conifères et d'Angiospermes dicotylédones (Scales et Peterson, 1991a ; Yu et *al.*, 2004). La phase extra matricielle est moins développée que celle des ectomycorhizes dans la mycorrhizosphère (Peterson et Massicotte, 2004).



**Figure 13 :A)-une ectendomycorhizes formée par racine de Larix sp et le champignon E-strin .B)- Coupe transversale dans une ectomycorhize de Pimussp. Observée au microscope fluorescent. Le manteau (m), réseau de Hartig, pelotons d'hyphes intra matricielle (tête de flèche) (Peterson et Massicotte, 2004).**

### 2.3.3- L'endomycorhize « Les mycorhizes arbusculaires »

Les mycorhizes arbusculaires (MA), sont appelées anciennement endomycorhizes à vésicules et arbuscules (Benbelkheir & Kasri, 2020). C'est une association symbiotique ubiquiste, rencontrée de l'arctique aux tropiques et donc plus répandue dans le règne végétale. Elles sont présentes aussi bien dans le milieu naturel que chez les plantes cultivées, agriculture, horticoles ou forestières (Fortin et *al.*, 2015). On les rencontre même chez les plantes Cryptogames : Bryophytes et Ptéridophytes (Fortin et *al.*, 2008). Contrairement aux ectomycorhizes et ectendomycorhizes, les champignons impliqués ne provoquent pas de changement morphologique évident au niveau de la mycorhize (Benmazari, 2008). Cependant cette symbiose provoque un changement global sur tout le système racinaire (Berta et *al.*, 1990).

La taxonomie des champignons mycorrhizogènes à arbuscules (CMA) ne repose que sur la base de la description morphologique des spores et des sporocarpes permettant de les classer dans les Zygomycètes, dans l'ordre des endogonalcées

(Koide et Mosse, 2004). Contrairement aux actomycorhizes et ectendomycorhizes, les champignons impliqués ne provoquent pas de changement morphologique évident au niveau de la mycorhize. Cependant cette symbiose provoque un changement globale sur tout le système racinaire (Berta et al., 1990).

#### 2.4- Classification des champignons endomycorhizes

La taxonomie des champignons mycorhizogènes à arbuscules (CMA) ne reposait que sur la base de la description morphologique des spores et des sporocarpes permettant de les classer dans les zygomycètes, dans l'ordre des endogonales de la famille des endogonacées (Koide et Mosse, 2004). Cependant, une analyse phylogénétique plus récente basée sur les séquence nucléotidiques du gène de l'ARN 18S de la petite sous unité ribosomal a permis de retirer le groupe des CMA du phylum polyphylétique de Zygomycota et de les classer dans le phylum des Glomeromycota (Schüßler, et al., 2001). Ainsi, ils sont classés dans la classe des Gomeromycètes subdivisée en quatre ordres : Archeosporales, Diversisporales, Glomerales et paraglomerales (Schussler et al., 2001), dont huit familles et treize genres. Le nombre exact d'espèces identifiées et classées dans le phylum n'est pas connu. (Rosendahl & Matzen, 2008). Cette classification est cependant actuellement contestée et il semblerait que les CMA appartiennent bien au groupe paraphylétique des Zygomycota (Zeramardini,, 2009).

D'après: Morton et Benni (1991), la classification des endomycorhize est la suivante:

**Ordre:** ..... *Endogonales*.

**Famille:** ..... *Endogonaceae*.

**Genres:** ..... *Endogone, Sclerogone*.

**Ordre:** ..... *Glomales*.

**Sous-ordre:** ..... *Glomineae*.

**Famille:** ..... *Glomaceae*.

**Genres:** ..... *Glomus, Sclerocystis*

#### 2.5- Fonctions du mycorhize

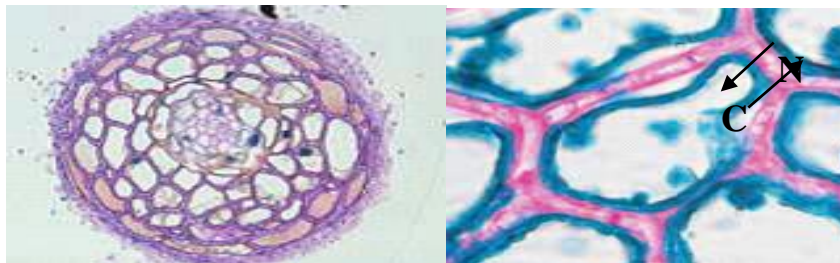
Les effets bénéfiques de la symbiose racinaire sont assurés par la phase intraracinaire du champignon et par la présence d'hyphes extra-racinaires de faible diamètre, se ramifiant dans le sol et jouant un rôle essentiel dans l'acquisition du phosphore (Louisanna et al. 2003). Elles évoluent à grande distance et atteignent des zones non accessibles aux

racines augmentant ainsi les surfaces d'échange entre la plante et son environnement. Les hyphes ont aussi la possibilité d'acquérir d'autres minéraux comme l'azote, le soufre, le calcium, le magnésium, le potassium, le zinc et le cuivre mais les informations dont on dispose sont plus limitées à ce sujet (Louisanna et al. 2003).

Des recherches ont démontré que certaines ectomycorhizes peuvent pénétrer à l'intérieur de cristaux de feldspath (cristaux contenant de l'aluminium, de la silice et du potassium) en le dissolvant et ainsi y puiser du potassium (Suty, 2015). Ces champignons sont particulièrement utiles dans des sols où la rétention de minéraux n'est plus possible. Il a aussi été démontré que les mycorhizes peuvent directement exploiter les débris végétaux tombés par terre pour le compte des plantes.

### 2.5.1- Un échange d'éléments nutritifs vitaux

La mycorhize est un organisme dans lequel la plante et le champignon mycorhizien s'échangent des matières – un peu comme à la bourse. Tandis que la plante fournit au champignon les sucres élaborés lors de la photosynthèse, ce dernier lui offre en échange des éléments nutritifs, comme l'azote (N) et le phosphore(P), qu'il a prélevés dans de minuscules espaces poreux du sol, à l'aide de ses hyphes fins. Étant donné que les hyphes se répandent largement dans le sol, la surface d'absorption est beaucoup plus grande que celle occupée par les poils absorbants des plantes non mycorhizées. Ainsi, les tissus des plantes mycorhizées contiennent souvent des concentrations accrues d'azote et de phosphore L'échange de ces éléments entre le champignon et l'arbre passe par une zone spécifique appelée le réseau intercellulaire de Hartig (d'après T. Hartig, botaniste forestier Allemand).



**Figure 14: Echange des éléments nutritifs** (Source : Egli et Brunner (2002))

Ce réseau est composé d'un épais tissu fongique qui s'installe entre les cellules racinaires et les radicelles, assurant ainsi un contact étroit entre les deux partenaires (Hamrit et Derri, 2020). Si l'on observe au microscope la coupe transversale d'une mycorhize, on voit que son tissu fongique ressemble à un filet, d'où le nom de réseau de Hartig. Le manteau fongique et le réseau de Hartig ont la particularité d'emmagasiner le phosphore et de l'accumuler sous forme de poly phosphates à longue chaîne, ou granules de poly phosphates, qui sont stockés dans les cellules fongiques sous forme solide.

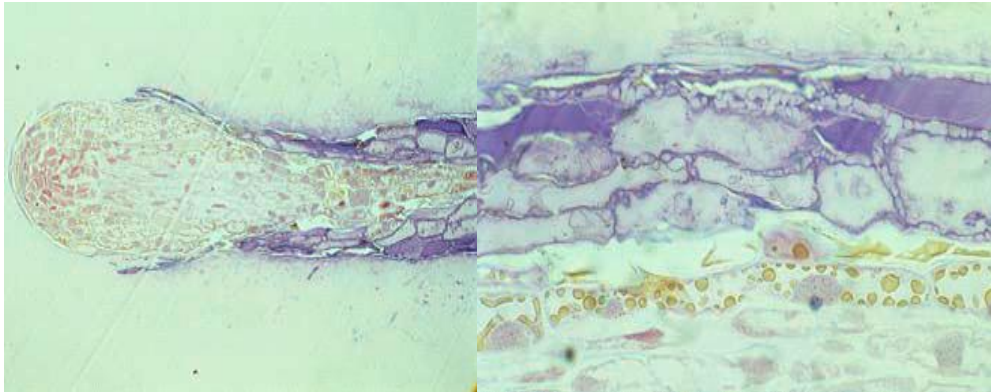
Le développement d'un mycorhize dure de quelques jours à quelques semaines (Bousselmane et Achouri, 2002). Il a pour effet de stopper la croissance longitudinale des radicelles et d'inhiber la formation des poils absorbants. Les hyphes de la mycorhize prélèvent alors pour les racines les éléments nutritifs et l'eau nécessaires à l'arbre. Un mycorhize vit généralement durant une ou deux périodes de végétation (Egli et Brunner, 2002). Mais sa présence n'empêche pas les racines, au printemps, de s'extraire du manteau fongique qui les entoure ni d'être colonisées par un nouveau champignon mycorhizien.

Contrairement aux racines non mycorhizées qui ont des poils absorbants (à gauche: racine d'épicéa stérile), les racines mycorhizées (à droite: racines d'épicéa mycorhizées par un Hébélome) sont entourées d'un manteau fongique à partir duquel les hyphes se répandent dans le sol (Egli et Brunner, 2002).

### **2.5.2- Protection contre les polluants**

Les mycorhizes protègent aussi l'arbre des effets toxiques des polluants. Depuis le début de l'industrialisation au 19<sup>e</sup> siècle, les émissions de polluants contiennent entre autres des métaux lourds qui se déposent aussi en forêt. Si certains de ces éléments, tels le fer, le zinc ou le cuivre, sont indispensables à la plante, d'autres sont toxiques, comme le plomb, le cadmium, le nickel, le mercure ou le chrome (Egli et Brunner, 2002). Les métaux lourds n'étant pas décomposables, ils s'accumulent dans la biosphère et constituent ainsi un danger croissant pour les organismes vivants. Mais une partie des champignons mycorhiziens y résistent particulièrement bien, même lorsque leurs teneurs dans le sol sont élevées. Tout comme l'aluminium, certains métaux lourds se fixent dans le mycélium; on les trouve dans les granules de poly phosphates, à l'intérieur des cellules, sur les parois et noyaux cellulaires ainsi que dans des protéines spéciales (Planche7). Chez les plantes

mycorhizées, ils sont retenus dans le manteau fongique déjà et ils ne parviennent à la racine de la plante qu'en quantités réduites.



**Figure 15 : Coupe longitudinale d'un mycorhize d'épica** (Source : Egli et Brunner, 2002)

Ici, la mycorhize est comparable à un filtre. Le revers de la médaille: ces métaux lourds s'accumulent dans les fructifications du champignon, ainsi que de rendre les champignons comestibles impropres à la consommation (Egli et Brunner, 2002).

Les substances radioactives ont un comportement semblable. Elles sont aussi véhiculées par l'air et se déposent en forêt. Du césium radioactif fut identifié pour la première fois après les essais nucléaires dans les années 50 et 60.

En Europe, la principale source de radioactivité a été créée par la catastrophe

De Tchernobyl, en 1986. Tout comme le strontium, le césium fait partie des substances radioactives les plus significatives, notamment à cause de sa longue demi-vie biologique (30 ans).

Dans nos sols forestiers, les teneurs en césium radioactif varient largement. Les valeurs les plus élevées ont été mesurées au Tessin. Le césium contenu dans le sol se fixe aux champignons et aux bactéries. C'est pour cela que les plantes n'en absorbent que de petites quantités et qu'il ne peut être éliminé de l'écosystème. Au même titre que les métaux lourds, le césium s'accumule dans les hyphes; ses concentrations sont parfois très élevées, notamment dans les fructifications de certains champignons mycorhiziens.

### **2.5.3- Autres fonctions des mycorhizes**

Comme nous l'avons déjà mentionné, les mycorhizes favorisent l'absorption par les racines des éléments nutritifs et de l'eau et améliorent la protection de la plante contre les polluants. Par ailleurs, les plantes mycorhizées tolèrent mieux les facteurs stressants d'ordre abiotique et biotique. Le champignon élabore des sucres, comme le mannitol ou l'arabitol, qui rendent les racines plus résistantes au gel. En outre, il synthétise des antibiotiques, induit la formation du tanin et favorise la flore microbienne dans le manteau fongique, ce qui augmente le pouvoir défensif des plantes contre les pathogènes contenus dans le sol. Enfin, les phytohormones formées par les champignons mycorhiziens (p. ex. auxine, gibbérelline, cytokynine, éthylène) favorisent la croissance des plantes (Egli et Brunner, 2002).

### **2.5.4- Mécanisme de transfert du phosphore chez les mycorhizes**

L'absorption du phosphore se fait grâce aux hyphes externes du champignon mycorhizogène qui se caractérisent par la présence de nombreuses vacuoles (Dexheimer et al., 1985), dans lesquelles s'accumulent le phosphore sous forme condensée de granules de polyphosphates visibles au microscope électronique (Strullu et al., 1981).

Le stockage du phosphore dans les racines endomycorhizées se fait aussi à court terme sous la forme d'ortho-phosphate. L'accumulation des ions orthophosphates dans les hyphes des champignons (V.A) peut être de l'ordre de mille fois supérieure à celle du phosphore soluble dans le sol (Gianinazzi-Pearson et Gianinazzi, 1986).

## **2.6- Ecologie des mycorhizes**

### **2.6.1- Facteur édaphique**

La mycorhization est sous la dépendance de nombreux facteurs se produisant dans le sol, de l'agressivité du champignon et de la résistance ou de la sensibilité de la plante. Ainsi que la nature du sol, elle-même intervient en grande partie dans la détermination de la mycorhization (Khawla Et Dounia, 2020).

**a- La texture**

La texture du sol a également un rôle très important dans la formation des mycorhizes, par exemple dans les terrains sableux peu favorables à la formation des mycorhizes aussi bien ectomycorhize qu'endomycorhizes (Dommergues et Mangenot, 1970). Dans les sols calcaires, les résultats sont presque les mêmes que les sols sablonneux (Boullard, 1968).

**b- L'aération**

La mycorhization demande des sols bien aérés dont l'atmosphère renferme une proportion d'oxygène proche de la normale, soit environ 21% (Dommergues et Mangenot, 1970).

**c- L'humidité du sol**

Le minimum d'humidité du sol est souhaitable pour le complexe mycorhizen. Les ectomycorhizes disparaissent souvent sous l'effet de la sécheresse ou sont fortement altérées (Le Tacon et al., 1994). La formation des complexes endomycorhiziens chez les céréales est favorisée par l'humidité de 60 à 80% voire 100% de la rétention suivant les espèces cultivées (Boullard, 1968).

**d- Le pH**

L'effet du pH du sol est difficile à évaluer, car il existe des champignons symbiotiques adaptés à des sols acides, telles que les spores de certaines espèces des genres *Acaulospora* et *Gigaspora* qui germeraient mieux en pH acide. Alors que certains champignons vivent dans des sols neutres ou légèrement calcaires (Geneves, 1992).

**e- Les éléments minéraux**

Dans la nature la richesse du sol est considérée comme un facteur défavorable à la formation des complexes mycorhizien, les fumures trop généreuses ont un effet analogue. Ainsi une déficience en éléments minéraux ou un déséquilibre alimentaire sont souvent des facteurs prédisposant à la mycorhization (Aissani, 1997).

**f- La matière organique**

Dans les sols forestiers, les ectotrophes sont surtout nombreuses dans les horizons organiques sous la litière et sont moins développées, même à pH égal, dans le mull trop riche et dont l'humus est très évolué, que dans le more, plus pauvre et dont la matière organique est moins transformée (Dommergues et Mangenot, 1970).

### **2.6.2- Facteurs climatiques**

#### **a- La température**

La température exerce un effet déterminant sur la physiologie de la plante (Louarn et al., 2010) et même pour la souche fongique, une diminution de l'infection mycorhizienne dépend d'une élévation marquée de la température par exemple: l'infection endomycorhizienne et la production des spores sont stimulées pour une élévation de température jusqu'aux environ 30°C (Anonyme, 1979).

#### **b- L'éclaircissement**

L'éclaircissement est généralement considéré comme un élément déterminant dans le renouvellement des peuplements forestiers (Bischoff, 1987), les travaux expérimentaux effectués sur plusieurs espèces forestières (Pin, Hêtre, Frêne, Epicéa et Pruche américaine) montrent que les modifications les plus importantes liées à l'ensoleillement affectent le système racinaire, sa morphologie et l'intensité de la mycorhization (Anonyme, 1979).

#### **c- La saison**

La saison de Les mycorhizes (V.A) se forment à des périodes différentes suivant les hôtes. Otto (1962) a constaté que les endomycorhizes se développent activement en été et régressent à partir de l'automne en passant dans une phase inactive de digestion.

### **2.7- La mycorhization dans la nutrition minérale et la physiologie de la plante hôte**

Depuis longtemps l'effet bénéfique des mycorhizes dans les arbres forestiers a été démontré, surtout dans les premiers stades du développement de la plante Bowen (1973) et Harley (1979) ont montré que l'absorption des éléments nutritifs est réalisée souvent par les hyphes ou des cordons mycéliens. En effet, les ions se trouvent ensuite au niveau du manteau puis dans la plante hôte. Le rôle primordial des mycorhizes dans la physiologie

végétal, en particulier dans les sols carencés en éléments nutritifs a été démontré par plusieurs auteurs dont Read et Stribley (1973). Le champignon reçoit.

### **2.7.1- Nutrition minérale**

Dans la majorité des cas, le meilleur développement des plantes mycorhizées est dû à une amélioration de leur nutrition minérale, en particulier les éléments les moins mobiles dans le sol c'est-à-dire ; le phosphore(P), le cuivre(Cu) et le zinc(Zn) (El Habib, 2011) .

#### **a-Nutrition phosphatée**

D'après les études de nombreux auteurs Hall (1975) ; Menge et al. (1978), la quantité totale du phosphore absorbée est toujours élevée chez les plantes mycorhizées (Planchette, 1990).

#### **b-Nutrition azotée**

L'azote dans les tissus des plantes hôtes est généralement faible, car il est très mobile dans le sol.

Les champignons ectotrophes absorbent l'azote sous forme ammoniacale ( $\text{NH}^{+4}$ ), nitrique et des acides aminés puis le transfèrent à la plante essentiellement sous forme d'acide aminé (Le Tacon, 1985)

Les champignons ectotrophes et les endotrophes Ericoïdes voient la plante hôte notamment à mieux exploiter les constituants azotés solubles (ammoniac, nitrate et acide aminé) (Gianinazzi-Pearson, 1982b).

#### **c-L'absorption des oligo-éléments**

Les endomycorhizes (V.A) améliorent l'assimilation du soufre (S), du zinc (Zn) et du cuivre (Cu) par les plantes qui se développent en présence d'une faible teneur de ces éléments (Gray et Gerdemann, 1967 ; Gilmore, 1971). Elles augmentent aussi l'absorption du potassium (K) (Powell, 1975) du calcium (Ca) (Rhodes et Gerdemann, 1978) .

Pour les ectomycorhizes, il semble qu'elles pourraient jouer un rôle dans l'absorption du soufre(S) du calcium(Ca), du magnésium(Mg) et du potassium (K) (Routien et Dawson, 1943 ; Harley, 1969 et Gianinazzi-Pearson, 1982b).

**d-Tolérance aux métaux lourds**

Les souches fongiques particulièrement adaptées à des sols fortement contaminés en zinc, cuivre et cadmium montrent une tolérance plus élevée à ces éléments que celles provenant des sols non contaminés (Gildon et Tinker, 1983).

**e-Tolérance au calcaire**

La formation des ectomycorhizes peut provoquer la disparition de la chlorose et permettre une croissance normale des plantes dans des sols calcaires.

En ce qui concerne les endomycorhizes *Ericoides*, elles se développent exceptionnellement dans les sols calcaires chez *Erica carnea*. Les Ericacées étant pour la plupart calcifuges et les champignons impliqués montrent une adaptation à ce milieu (Duclos et *al.*, 1983). Cependant, leur rôle dans la colonisation par *Erica carnea* dans ces milieux édaphiques n'est pas connu (Gianinazzi-Pearson, 1982).

**f- Alimentation en eau**

Chez les ectomycorhizes, la meilleure alimentation en eau se fait grâce à un puissant réseau de rhizomorphes qui ont la capacité d'absorber l'eau à plusieurs centimètres des racines mycorhizées et de la transférer à la plante hôte (Duddridge, 1980). Mais pour les endomycorhizes (V.A), les plantes hôtes ont une capacité de résistance à la sécheresse, cela est due à une meilleure nutrition phosphatée (Atkinson et Davison, 1973).

**g- La production d'hormones**

La formation des endomycorhizes (V.A) provoque chez la plante hôte une augmentation de la concentration en cytokinines et en composés ressemblant à l'acide gibbérellique, ainsi qu'une diminution dans la production de l'acide abscissique (Allen et *al.*, 1980-1982).

Les champignons ectomycorhizogènes produisent diverses substances hormonales, celles-ci auraient un effet morphogène sur la synthèse racinaire en provoquant le développement des racines courtes, dû à un ralentissement de l'activité méristématique et une intense ramification secondaire (Anonyme, 1979).

### **h-Résistance aux pathogènes telluriques**

Les mycorhizes réduisent souvent la susceptibilité, en augmentant la tolérance des plantes hôtes aux attaques par des agents pathogènes telluriques tel que, le phytophthora, le fusarium et les Nématodes.

Cette protection phytosanitaire est localisée au niveau des racines et ne se manifeste pas dans les parties aériennes. Chez les ectomycorhizes, elles pourraient résulter d'un ou plusieurs processus complémentaires tel que :

- Création d'une barrière physique par le manchon fongique.
- Modification des conditions rhizosphériques en les rendant défavorables au développement des pathogènes.
- Excrétion dans le milieu d'antibiotiques par les champignons symbiotiques ou stimulation des mécanisme de défense de la plante (Planchette,1990).
- Des modification au niveau de la lignification, de la synthèse phénologique du métabolisme en acides aminées et la production d'éthylène ont été proposés du métabolisme en acides aminées et de la production d'éthylène ont été proposés comme d'éventuels facteurs jouant un rôle dans la protection offerte par des endomycorhizes (V.A) (Hamid,1998).

# Chapitre III

---

## Matériel et Méthodes

### 3.1- Provenance des échantillons des sols

Les échantillons du sol ont été prélevés à une profondeur de 10 à 20 cm de la rhizosphère des plantes *Retama raetam* (fig. 17) dans la région de Remelia. Cette région située à 5 Km au nord de la ville de Laghouat sur la version nord du Kaf Mokrane. Ses coordonnées géographiques (33°48'34"N et 2°48'00"E) sont enregistrées par *Global Position System* à une altitude de 800 m (Fig. 16).



Figure 16 : la région de Remelia (Kaf Mokran) (Originale, 2022)

L'analyse des propriétés physico-chimiques du sol a été réalisée au laboratoire pédagogique du département des sciences agronomique – université de Laghouat –.



Figure 17: Rhizosphère des plantes *Retama raetam*

### 3.2- Matériel végétal (caïeux *Allium* utilisée)

La variété *Allium vulgare* Kunz a été repiquée dans des pots en plastique U4. Les 60 pots ont été remplis de terre. Le caïeu est planté à 3 cm au niveau du sol. Les gousses d'ail ont été plantées le 26 février 2022.

Les pots ont été placés en randomisation totale et arrosés jusqu'au stade trois feuilles avec différentes concentrations de NaCl: 0 g/l, 2 g/l, 3 g/l, 5 g/l et 7 g/l (fig. 18). L'arrosage est effectué une à deux fois par semaine avec une quantité de 250 ml de solution de NaCl.



Figure 18: Les différentes concentrations de NaCl

### 3.3- Analyse du sol

#### 3.3.1- Paramètres physiques

Les paramètres physiques du sol examinés sont ainsi :

##### *Humidité*

L'humidité du sol est un paramètre clé dans l'écologie de l'association symbiotique, car un minimum d'humidité du sol est souhaitable pour le complexe mycorhizien (Simard, 2014). Les mycorhizes disparaissent souvent sous l'effet de la sécheresse ou sont fortement altérées.

##### *pH et le Calcaire*

Comme nous l'avons conclu dans la littérature, il est difficile d'évaluer l'effet du pH du sol, car il existe des champignons symbiotiques qui sont adaptés aux sols acides, tandis

que d'autres vivent dans des sols neutres ou légèrement calcaires. A cet effet nous avons effectué une analyse par rapport à ces deux paramètres.

### ***Conductivité électrique***

Certaines études montrent qu'une forte salinité affecte le pouvoir ineffectif de l'association mycorhizienne ainsi que la densité de spores de CMA. Ainsi, le paramètre salinité semble avoir un effet déterminant sur la vie des mycorhizes. C'est pourquoi nous avons analysé cet élément du sol.

### ***Les matières organiques***

L'apport de matière organique n'a pas eu d'effet direct sur l'association mycorhizienne. Mais elle participe de façon indirecte sur les conditions écologiques de la symbiose. En effet, il améliore la structure des sols trop « légers » dont il cimenter les particules en agrégats stables, et des sols « lourds » dont il diminue l'adhésivité en les rendant plus friables. Il régularise l'humidité de tous les types de sols: en favorisant l'évacuation de l'eau en excès des sols argileux et en augmentant la capacité de rétention en eau des sols sableux.

### **3.3.2- Paramètres chimiques**

Les paramètres chimiques du sol à examiner sont ainsi :

#### ***Azote***

Une des études est menée en plein champ sur 6 années. Elle compare le taux de mycorhization de la culture et le nombre de spores de "mycorhizes" présentes dans le sol.

En revanche, le taux de champignons diminue légèrement avec l'apport d'azote sous forme minérale et significativement sous l'influence conjuguée de l'azote et du travail du sol. C'est la raison de notre intérêt pour cet élément dans notre travail pour connaître le pourcentage d'azote dans le sol étudié.

#### ***Phosphore assimilable***

Certains auteurs montrent que de faibles niveaux de phosphore dans le sol favorisent la mycorhization des plantes et, par conséquent, la satisfaction de leurs besoins en cet élément. On ignore la nature exacte des signaux qui seraient impliqués dans ce phénomène et le rôle que jouerait le phosphore dans ces mécanismes. A cet effet nous nous intéressons à l'étude de cet élément.

### *Potassium*

Un bruleur alimenté par un mélange air-butane donne une flamme relativement chaude (1900°C environ) dans laquelle on nébulise finement la solution à analyser. La matière portée ainsi à un certain niveau d'énergie, la restitue sous forme de radiation lumineuse spécifique des ions qui les émettent et l'intensité émettrice, la mesure de l'intensité lumineuse produite par un élé.

Remarque :

*Le matériel utilisé et les modes opératoires adoptées dans toutes les analyses de sol sont celles décrites dans le livre de Guy Aubert 1938 (analyse de sol)*

### **3.4- Mycorhization**

Compte tenu du but poursuivi visant à observer et à identifier l'association mycorhizienne chez les plants *Allium sativum*, on devra rassembler tous le matériel dont on a besoin (verreries et produits chimiques) (Benchettouh, 1999). Quant à la méthode de travail qui a été suivie pour étudier le lien fongique, nous nous sommes appuyés sur la méthode de Nicholson (1955) (coloration des mycorhizes) et la loi de Phillips et Heyman (1970) afin de connaître tout d'abord le type de mycorhizes présent dans les racines d'Ail puis comptez-les (fig. 04 et la loi de Phillips et Heyman (1970) en annexe).

### **3.5- Régulateurs osmotiques**

#### **3.5.1- Chlorophylles**

Le matériel utilisé pour ce paramètre est tube à essai, Un mortier, pilon, l'eau distillé, balance précision et papier filtre, et 100 mg d'échantillon frais du Feuilles (ail...) pour chaque peut. Alors que, les réactifs qui sont utilisés 10 ml d'alcool à 90°. 5ml Acétone à 80% (dilué à 20ml E.D). L'appareillage suivant a été mis à notre disposition au laboratoire de sciences du sol, spectrophotomètre (UV visible), chlorophylle A 663 nm et chlorophylle B 645nm.

#### **3.5.2- Proline**

Le matériel utilisé pour déterminer la teneur de proline est ainsi: 100 mg de matière fraîche, des tubes à essai, 2 ml éthanol à 40%. Un bain-marie. Papier aluminium, balance de précision, l'eau distillée, agitateur vortex et les réactifs utilisés nous avons ramené les

produits chimiques: 1ml d'extrait auquel il faut ajouter : 1 ml d'acide acétique, 25 mg de ninhydrine, 1 ml de mélange contenant, 12 ml d'eau distillée, 30 ml d'acide acétique, 8 ml d'acide orthophosphorique (d=1.7), toluène et 5 mg de sulfate de sodium et Spectrophotomètre (UV).

### **3.5.3- Glycine bétaine**

Ce mode opératoire repose sur l'appareillage suivant: tubes à essai, balance de précision et agitateur vortex, mortier, pilon, papier filtre, micropipette, 0.5g de matière végétale et 20ml de l'eau distillé, 0.5ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et le spectrophotomètre à 365nm.

### **3.5.4- Sucres totaux**

Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche, des tubes à essais, 5 ml d'éthanol à 80 % pour faire l'extraction des sucres. 20ml d'eau distillée à l'extrait, 1ml de phénol à 5 % (le phénol est dilué dans de l'eau distillée) ; 5ml d'acide sulfurique concentré 96 % et bain - marie. Mesurés à par le spectrophotomètre à 640 nm.

### **3.5- Outils statistique**

ANOVA : (*analysis of variance*) est le modèle statistique utilisé dans notre étude pour vérifier les moyennes des paramètres étudiés.

# Chapitre IV

---

## Résultats et discussion

## 4.1- Résultats

### 4.1.1- Analyses physico-chimiques du sol

L'étude du sol occupe une place prépondérante, car sa texture et ses propriétés chimiques influent directement sur le mode de vie de l'association mycorhizienne (Benchettouh, 1999).

Dans cette approche nous avons étudié les propriétés physico-chimiques de la région de Remelia (Kaf Mokrane) afin d'avoir une idée sur les conditions de l'atmosphère du sol favorables au développement des mycorhizes. Les résultats de ces analyses sont figurés dans les tableaux ci-dessous.

**Tableau 03 : Résultats de l'analyse physico-chimique du sol**

L'échantillon	H%	pH	CE Mmhos /cm	MO%	N%	P%	K%	CaCO <sub>3</sub> %	C/N%
<b>R1</b>	4.84	7.5	0.43	1.8	1.4	0.017	31	0.62	6.1
<b>R2</b>	4.84	7.7	0.42	1.3	0.8	0.018	31	0.24	9.7
<b>R3</b>	4.84	7.4	0.37	1.2	1.2	0.018	32	0.24	6.9

Selon la provenance du sol étudié (fig.17) on déduit que la texture est de type sableux (on note que les analyses granulométrique n'ont été pas effectuées à cause de l'absence de l'appareil de Pipette de Robinson au niveau de nos laboratoires de sciences du sol).

D'après le tableau 03 on remarque que le pH est légèrement alcalin (varie entre 7.4 et 7.7) avec un taux de salinité (CE) varie entre 0.37 et 0.43 mmhos/cm.

En ce qui concerne les analyses chimiques, le sol présente une teneur faible en matière organique (variée entre 1.2 et 1.8%) ; cette teneur est due au manque d'un apport des matières organiques. Ceci apparaît clairement dans le rapport de C/N (varié entre 6.1 et 9.7%). Ce dernier montre que la minéralisation sous ces conditions est très faible. Ceci explique que notre sol est généralement pauvre en éléments nutritifs à savoir l'azote (entre 1.4 et 0.8%), le phosphore assimilable (entre 0.017 et 0.018%) et le potassium (entre 31 et 32%).

Ce type du sol semble avoir favorable au développement des mycorhizes, en effet Goudiaby et al. (2018) ont montré que l'intensité de mycorhization a été plus élevée quand le taux du sable dépasse 50%, 75% ou 100%, elle est respectivement de 39.6 %, 26.75 % et 34 %.

Bouabdelli et al. (2018) ont montré que l'intensité de colonisation des mycorhizes est plus importante dans le bioclimat aride, caractérisé par des sols alcalins, pauvres en matière organique avec des taux relativement faibles en carbonates de calcium. L'analyse de la variance (facteur station et l'interaction station x saisons) montre une différence très significative pour la fréquence de mycorhization et hautement significative pour les variables du sol.

La vie des mycorhizes est intimement associée aux propriétés physico-chimiques des sols Briat et Job (2017).

#### **4.1.2- Mise en évidence de l'association mycorhizienne chez *Allium sativum* L.**

##### ***Résultats des observations microscopiques***

Plusieurs coupes longitudinales ont été réalisées, colorées et observées sous microscope photonique du grossissement x10 et x40. L'examen microscopique de dix fragments chacun à 1 cm de long, qui sont disposés entre lame et lamelle se fait tout d'abord par le grossissement x10. Ce dernier a pour but pour recenser les tâches rouges (présence des mycorhizes). Ensuite, à l'aide du grossissement x40 et selon la méthode de Nicolson (1955), les observations effectuées montrent que les racines de *Allium sativum* L. présente une association endomycorhizienne chez toutes les racines examinées. Cette symbiose est représentée dans la plupart des cas par une vésicule interne ou un hyphe externe et rare sont les arbuscules. Ces structures fongiques sont rencontrées exclusivement dans la nature chez la famille des *Endogonacées* d'où le nom des endomycorhizes à vésicules et arbuscules (V.A). Le mycélium endomycorhizien généralement *Zygomycètes* colonise les cellules corticales (hôtes) autour desquelles, il constitue un hyphe ramifié (Benchettouh, 1999) comme le montre la figure 19.

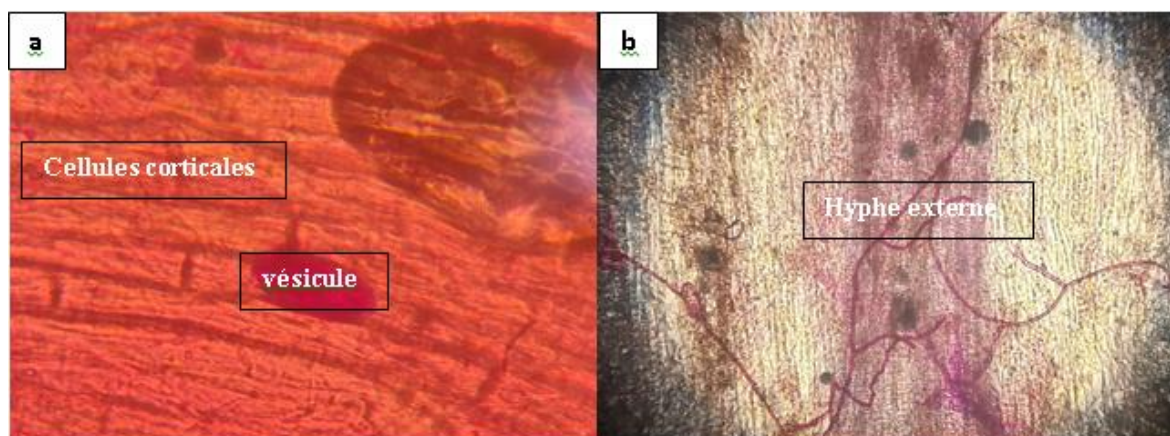


Figure 19. a) vésicule arbusculaire ; b) hyphe externe

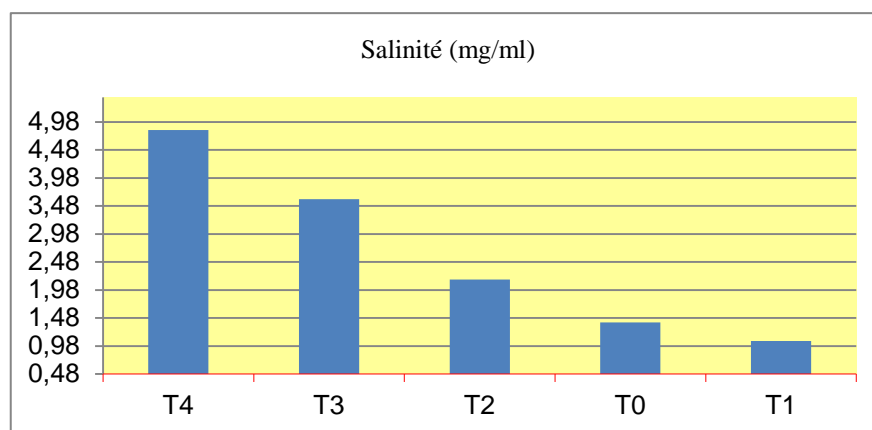
Le résultat statistique relatifs à l'effet des différentes concentrations de NaCl sur la densité symbiotique des champignons mycorhiziens est indiqué dans le tableau.04 et représenter par l'histogramme (fig.20).

Tableau 04: l'effet des différentes concentrations de NaCl sur la densité symbiotique des champignons mycorhiziens chez *Allium sativum*

Traitement	Moy $\pm$ ET	Groupe homogènes		Prob
T4	4.833 $\pm$ 1.457	A		0.013THS
T3	3.600 $\pm$ 0.265	A	B	
T2	2.167 $\pm$ 1.818	B		
T0	1.400 $\pm$ 0.964	B		
T1	1.067 $\pm$ 0.603	B		

L'analyse statistique par le biais ANOVA a indiqué une différence significative entre les moyennes des différents traitements (Prob 0.013<0.05).

Donc les traitements sont classés en deux groupes homogènes A et B, dont le traitement T4 et T3 a remarqué la concentration des taches mycorhiziennes les plus élevées (fig.20), classées dans le groupe homogène A. par contre les autres traitements ont enregistré le taux le plus faible classés dans le même groupe homogène B.



**Figure 20 : l'effet des différentes concentrations de NaCl sur la densité symbiotique des champignons mycorrhiziens chez *Allium sativum***

Le résultat de la densité fongique moyenne calculée pour 60 plants arrosés avec cinq concentrations différentes de NaCl : 0 g/L, 2 g/L, 3 g/L, 5 g/L et 7 g/L (tab. 04 et Fig. 20) a montré que des plants arrosés à des concentrations élevées après trois mois présentent une forte densité d'endomycorhizes. Cette densité a été observée au niveau des plants subissant à une concentration de 7 g/L et 5 g/L enregistrant une moyenne de 5 vésicules/1 cm et 4 vésicules/1 cm de fragment racinaire, respectivement.

Les plants arrosés avec de faibles concentrations de NaCl montrent une faible densité pour la présence de vésicules endomycorhiziens. Ces densités sont de l'ordre de 1 vésicule/1 cm de fraction racinaire observés chez les plants traités à faible concentration (<2 g/L NaCl).

#### **4.1.3- Effet de la salinité sur les paramètres de stress salin (Régulateurs osmotiques)**

##### **4.1.3.1- Teneur en proline**

Les résultats relatifs à la teneur en proline sont représentés dans le tableau.05 et illustrés par l'histogramme (fig.21)

Tableau 05 : Concentrations de la teneur en proline sous l'effet de NaCl chez *Allium sativum*

Traitements	Moy $\pm$ ET	Groupes homogènes	Prob
T4	0.995 $\pm$ 0.401	A	0.006 THS
T2	0.505 $\pm$ 0.079	B	
T1	0.380 $\pm$ 0.170	B	
T3	0.337 $\pm$ 0.006	B	
T0	0.202 $\pm$ 0.054	B	

L'analyse de la variance a révélé un effet hautement significatif de la salinité sur la teneur en proline. Ainsi les traitements sont classés en deux groupes homogènes A et B, dont le traitement T4 (7 g/l) enregistré la valeur la plus élevée avec un seuil maximal de 0,995 mg/ml par rapport aux autres concentrations. Par contre la concentration T0 (C = 0 g/l) a montré une valeur minimale de 0,202 mg/ml par rapport aux autres concentrations.

Ces données trouvent leur confirmation dans le test de Newmans-Keuls qui est très significatif (0.006 < 0.05).

L'accumulation de la proline est l'une des manifestations les plus remarquables chez les plantes pour limiter les effets du stress salin afin de réaliser l'ajustement du potentiel osmotique dans le cytoplasme (Sannadaet al, 1995 ; Belkhodja et Benkabilia, 2000)

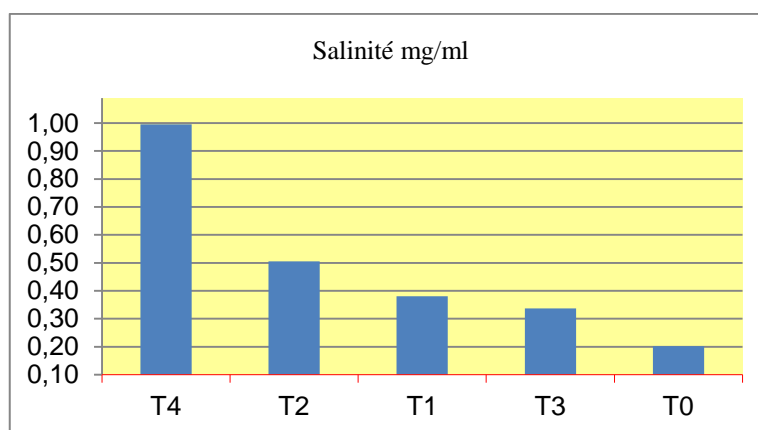


Figure 21 : Les différentes concentrations de la teneur en proline sous l'effet de NaCl chez *Allium sativum*

#### 4.1.3.2- Teneur en chlorophylle A et B

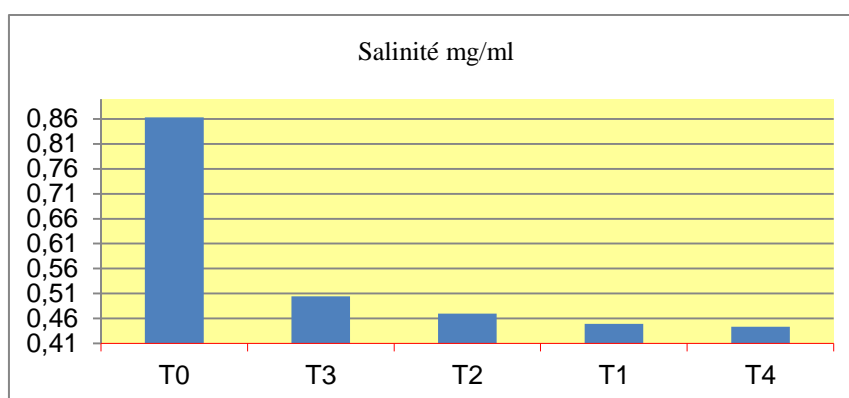
Les résultats relatifs à la teneur en chlorophylle A sont représentés dans le tableau.06 et illustrés par l'histogramme (fig.22) et ceux relatifs à la chlorophylle B sont représentés dans le tableau.07 et illustrés par l'histogramme (fig.23).

**Tableau 06: Les différentes concentrations de la teneur de chlorophylle A sous l'effet de NaCl chez *Allium sativum***

Traitements	Moy ± ET	Groupes homogènes	Prob
T0	0,863±0.059	A	0.0000 THS
T3	0,505±0,067	B	
T2	0,470±0,059	B	
T1	0,449±0,104	B	
T4	0,443±0,018	B	

L'analyse statistique par le biais de l'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les moyennes des différents traitements ( $\text{prob}0.0000 < 0.05$ ). Donc il y'a un effet de la salinité sur l'expression de la teneur en chlorophylle A.

Le test de Newmans-Keuls nous a permis de classer les traitements en deux groupes homogènes A et B. Ainsi le traitement T0 a enregistré la teneur en chlorophylle la plus élevée (0.863mg/ml) (fig.22), classé dans le groupe homogène A. Alors que les autres traitements ont enregistré le taux le plus faible classés dans le même groupe homogène B.

**Figure 22: Les différentes concentrations de la teneur de chlorophylle A sous l'effet de NaCl chez *Allium sativum*.****Tableau 07 : Les différentes concentrations de la teneur de chlorophylle B sous l'effet de NaCl chez *Allium sativum***

Traitement	Moy± ET	Groupe homogènes	Prob
T0	0.402±0.160	A	0,006 THS
T3	0.237±0.019	B	
T2	0.150±0.023	B	
T1	0.145±0.036	B	
T4	0.133±0.010	B	

L'analyse statistique par le biais de l'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les moyennes des différents traitements (prob  $0.006 < 0.05$ ). Donc il y'a un effet de la salinité sur l'expression de la teneur en chlorophylle B.

Le test de Newman-Keuls nous a permis de classer les traitements en deux groupes homogènes A et B. Ainsi le traitement T0 a enregistré la teneur en chlorophylle la plus élevée (0.402mg/ml) (fig.23). Classé dans le groupe homogène A. Alors que les autres traitements ont enregistré le taux le plus faible classés dans le même groupe homogène B.

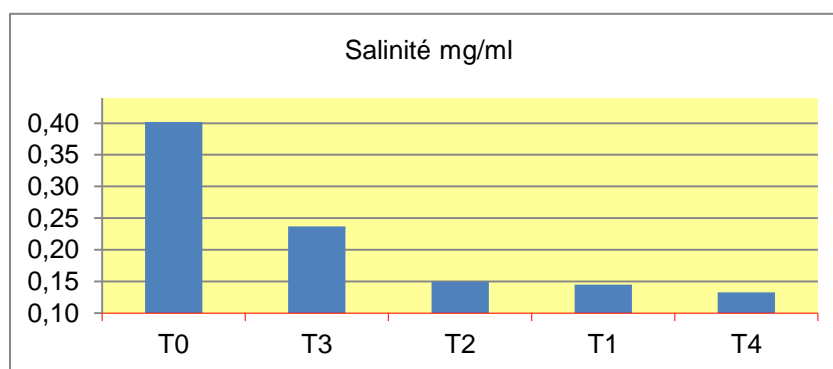


Figure 23 : Les différentes concentrations de la teneur de chlorophylle B sous l'effet de NaCl chez *A.sativum*

#### 4.1.3.3- Teneur en sucres totaux

Les résultats relatifs à la teneur en sucre totaux sont représentés dans le (tableau.08) et présentés par l'histogramme (fig.24)

Tableau 08 : Les différentes concentrations de la teneur de sucres totaux sous l'effet de NaCl chez *Allium sativum*

Traitement	Moy $\pm$ ET	Groupe homogènes	Prob
T4	0.371 $\pm$ 0.139	A	0.002 THS
T1	0.151 $\pm$ 0.016	B	
T0	0.139 $\pm$ 0.007	B	
T2	0.109 $\pm$ 0.008	B	
T3	0.065 $\pm$ 0.034	B	

D'après la figure on remarque que la teneur des sucres totaux de *Allium sativum* par le biais de l'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les moyennes des différents traitements (prob  $0.002 < 0.05$ ). est plus élevée de l'ordre de 0.139 mg/ml. par contre la variable T3 et pour la concentration (C5) a marqué une valeur minimale de 0,065mg/ml par rapport aux autres concentrations.

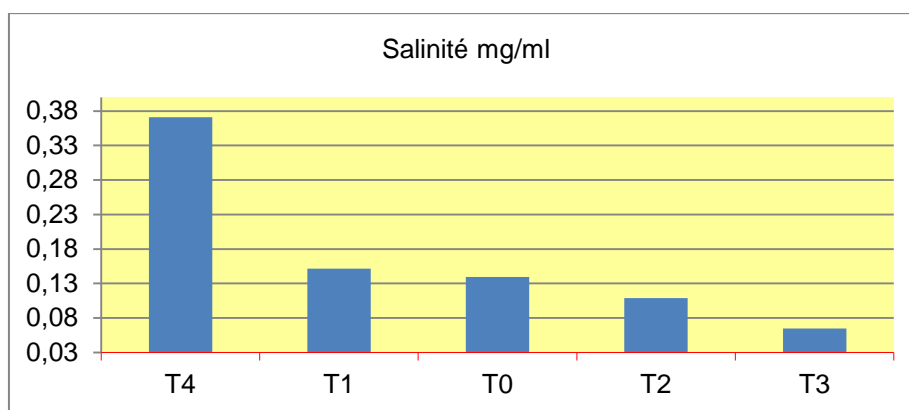


Figure 24: Les différentes concentrations de la teneur de sucres totaux sous l'effet de NaCl chez *A. sativum*

#### 4.1.3.4- Teneur en glycine bétaine

Les résultats relatifs à la teneur en glycine bétaine sont représentés dans le tableau.09 et expliqués par l'histogramme (fig.25).

Tableau 09: Les différentes concentrations de la teneur de GB sous l'effet de NaCl chez *Allium sativum*

Traitements	Moy $\pm$ ET	Prob
T0	0.654 $\pm$ 0.114	0.250
T1	0.648 $\pm$ 0.088	
T2	0.542 $\pm$ 0.184	
T3	0.456 $\pm$ 0.111	
T4	0.520 $\pm$ 0.040	

L'analyse statistique par le biais ANOVA a indiqué une différence non significative entre les différents traitements. Donc il n'y a pas un effet de la salinité sur la teneur en glycine bétaine.

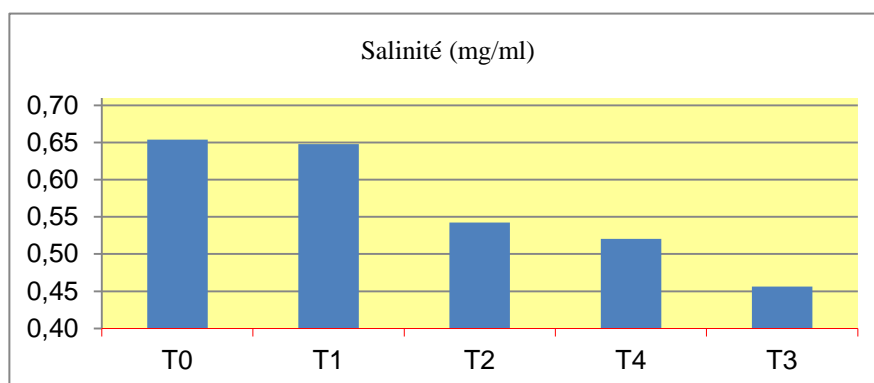


Figure 25: Les différentes concentrations de la teneur de GB sous l'effet de NaCl chez *Allium sativum*

## 4.2- Discussion

Les résultats obtenus sont en partie cohérents avec certains travaux publiés antérieurement. En effet, Soumare et al. (2008) ont montré que les champignons mycorhiziens arbusculaires permettraient d'atténuer les effets néfastes du sel sur la productivité des végétaux et de maintenir le couvert végétal des zones affectées.

Khaled et al. (2003) ont effectué de différentes concentrations en NaCl (0, 4, 6 et 8 g/L<sup>-1</sup>) sur des plantules de trèfle. Ces auteurs ont montré que la mycorhization (MA) a abouti à une meilleure amélioration de la tolérance à la salinité et de la production de biomasse (+ 65 %) pour toutes les doses de sel appliquées. Les intensités de mycorhization et les teneurs en arbuscules obtenues pour les MA sont élevées (71 % et 57 %) en améliorant significativement la nutrition phosphatée chez les plantes mycorhizées. Cet effet nutritionnel semble jouer un rôle principal dans les mécanismes de tolérance à la salinité. Le contenu foliaire en protéines a été également amélioré. La proline s'est accumulée dans les feuilles du trèfle surtout chez les plantes doublement inoculées par les MA et le Rhizobium alors que les sucres solubles se sont accumulés suite aux inoculations simples. Toutefois, l'intensité du stress salin n'a montré de corrélation positive avec les teneurs accumulées en sucres que dans le cas des plantes mycorhizées.

Leye et al. (2009) ont déduit que les résultats obtenus sur l'effet de la mycorhization sur la croissance et le développement de *Jatropha curcas* L. indiquent après quatre mois de culture, que l'inoculation avec les champignons mycorhiziens augmente de manière significative la croissance des plants. Ils ont également noté que les biomasses racinaires et aériennes ont été nettement améliorées avec des valeurs atteignant parfois le double des témoins.

Leye et al. (2012) ont déduit que les résultats montraient qu'en présence de la mycorhization, *Jatropha* tolérait mieux la salinité jusqu'à 300 mM de salinité et d'eau de mer diluée (50% EM). A des concentrations de 400 mM et d'eau de mer pure (100% EM), les plants n'étaient plus dépendants de la mycorhization.

Les résultats obtenus par Tarek (2012) montre que l'évaluation de l'effet de la salinité (NaCl) sur la croissance sur des souches mycorhiennes a permis de montrer qu'elles se caractérisent par une tolérance élevée au stress salin et sont par conséquent bien adaptées aux conditions du milieu désertique.

Les résultats de l'effet de la salinité sur les régulateurs osmotiques et le rôle des mycorhizes dans leur amélioration au niveau du système foliaire concordent en partie avec certains travaux déjà publiés. En effet, M'hamed et al. (2002) ont déduit que les résultats obtenus chez l'orge montrent que la teneur en proline augmente avec l'augmentation de la concentration saline. Ces résultats confirment ceux trouvés par El Jaafari (1993) et Mouloud et al. (2002) sur des variétés de blé en cas de stress salin et les résultats de El Mekkaoui et al. (1994) chez l'orge.

Rajaskaran et al. (2000) ont montré que l'accumulation de la proline en réponse à la salinité n'est pas corrélée avec le degré de tolérance. De même dans cette étude, l'augmentation du stress salin est accompagnée parallèlement par une augmentation des teneurs de proline, mais cette augmentation est relativement variable chez la même espèce végétale. Cette variabilité est due aux conditions du milieu d'une part, et d'autre aux génotypes. Les travaux de Ben Naceur et al. (2004), ont montré que le stress salin induit une légère augmentation (par rapport à son témoin) de la teneur en proline chez les génotypes les plus tolérants et une grande accumulation chez les génotypes sensibles.

Mouffak (2009) a retranché que ses résultats montrent une accumulation de la proline, dans différents organes; cependant, cette accumulation est importante aux niveaux des tiges des plantes stressées au NaCl et au CaCl<sub>2</sub>. Par ailleurs, elle est significative aux niveaux des tiges (145.38 µg/ml par rapport à 105.43 µg/ml) et des racines (128.26 µg/ml par rapport à 90.21 µg/ml) des plantes stressées au NaCl<sup>+</sup> et au CaCl<sub>2</sub> par rapport aux plantes témoins, à la concentration saline 150 meq/l.

L'augmentation de la teneur en proline est une réponse protectrice des plantes à tous les facteurs qui conduisent à une diminution de l'eau dans le cytoplasme et dont la concentration en proline ne modifie pas l'activité enzymatique (Hamdoud, 2012.)

Gallouze (2002) a constaté, que la teneur en chlorophylle totale diminue avec l'augmentation de l'intensité du stress conformément à ce qui a été rapporté par d'autres auteurs.

Les travaux de Velegaleti et al. (1990) ont montré que l'accumulation de chlore entraîne une diminution de la chlorophylle. Les ions sodium ont un effet néfaste sur la teneur foliaire en pigments photochromiques qui jouent un rôle important dans les

réactions de photosynthèses telles que la chlorophylle A et B ainsi que sur la teneur totale en chlorophylle.

El-Iklil et al. (2002) ont déduit que les teneurs en chlorophylle A, B et totale ont été réduites sous l'effet d'un stress salin, alors que la concentration en proline au niveau des feuilles a augmenté substantiellement en fonction des génotypes.

D'une façon générale, Kinsou et al. (2021) ont déduit que la salinité réduit la production de la biomasse et améliore la qualité nutritionnelle des fruits en augmentant notamment ses teneurs en vitamines et en lycopène chez les légumineuses.

Benabdallah et Daoud (2017) ont déduit que résultats obtenus chez le figuier de barbarie montrent que le degré de tolérance vis-à-vis de la salinité de cette espèce est étroitement reposant sur sa capacité d'accumulation de sucres solubles au niveau des racines.

Selon Gogbeu et al. (2019), la teneur en sucres totaux et en composés phénoliques exprimée chez deux variétés des plants de Zouhn-kinmin et Kpeulia montre que la première variété serait plus tolérante au stress salin pendant la phase végétative et le second à la phase de reproduction.

Ainsi, la synthèse des sucres est stimulée par le stress salin chez de nombreuses espèces soit en bloquant la glycolyse soit par hydrolyse de l'amidon. Hamdoud, (2012) a constaté que l'augmentation de la teneur en sucres solubles ou la réduction du stress chez les plantes stressées est liée à une teneur en chlore plus élevée et à une teneur en potassium plus faible, ce qui conduit à pour baisser la teneur en sucre.

# Conclusion

### Conclusion

Nos résultats ont montré que les champignons mycorhiziens stimulent davantage, sous l'effet de l'impact de la salinité, la biomasse végétale et favorisent l'accumulation de régulateurs osmotiques dans le système foliaire.

Au terme de cette étude, il est recommandé :

Poursuivre l'étude aux différents stades du cycle végétatif de *Allium sativum* L ;

Faire des études de l'effet de la salinité sur l'accumulation foliaire des régulateurs osmotiques en présence et en absence des mycorhizes.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

- Alaoui, S. B. (2005)** Référentiel pour la Conduite Technique de l'ail (*Allium ativum*)
- Allen J.** La culture de l'ail - Fiche technique [Internet]. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales - Ontario. 2009 [cité 15 oct 2015]. Disponible sur: <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/09-012w.htm#5>
- Benchettouh A. (1999)** : Contribution à l'étude de la minéralomasse, de la phénologie et de la mycorhization chez l'Arganier : *Arganiaspinosa* (L.) Skeels. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie : 89 p, ISA, Université de Mostaganem
- Benrekia, F. Z. (2020).** La culture d'ail dans la wilaya de M'sila Situation, conduite et suivi de la culture (région d'OuledDerradj) (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
- Benmazari, N. (2008).** Recherche des conditions adéquates pour la micropropagation du cyprès du Tassili *Cupressus dupreziana* A. CAMUS et étude préliminaire des mycorhizes (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Benbelkheir, H., & Kasri, F. Z. (2020).** Contribution à l'étude de la biodiversité des endomycorhizes dans la région de Boussaada M'sila (Algérie) (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA)
- Benmazari, N. (2008).** Recherche des conditions adéquates pour la micropropagation du cyprès du Tassili *Cupressus dupreziana* A. CAMUS et étude préliminaire des mycorhizes (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Mosse, B. (1973).** Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. Annual Review of phytopathology, 11(1), 171-196.
- Ben Naceur L., M'rabet, R., Bdioui, M. et Bradaï N. 2004** - Évaluation économique et impact des interactions entre les dauphins et les filets des sardiniers dans la région de Mahdia. Actes de la 6ème Conférence Internationale sur les Cétacés de la Méditerranée (RIMMO), p : 83- 85
- Berta, G., Fusconi, A., Trotta, A., & Scannerini, S. (1990).** Morphogenetic modifications induced by the mycorrhizal fungus *Glomus* strain E3 in the root system of *Allium porrum* L. New Phytologist, 114(2), 207-215
- Birlouez, E. (2016).** Ail, oignon et autres Alliacées: approche historique et culturelle. Phytothérapie, 14(3), 141-148
- Boukeria S. (2017).** Etudes de l'effet de la variabilité génétique de l'espèce *Allium cepa* l. et *Allium sativum* L. sur la production et l'accumulation des huiles essentielles et sur leurs effets antibactériens. Thèse de doctorat .Université de Guelma. 185P.
- Botineau M.** Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. Paris: Éd. Tec & Doc; 2010, 1335p
- Boullard, B. (1968).** Mycorrhizas. Mycorrhizas

## **Références bibliographiques**

---

- Bousselmane, F., & Achouri, M. (2002).** Effet des mycorhizes à vésicules et arbuscules sur la croissance et la nutrition de l'arganier (*Argania spinosa* L.). *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 22(4), 193-198
- Boukhelifa, S., & Mahmoudia, K. (2020).** Etude bibliographique de l'impact de la Mycorhization de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en agriculture de conservation (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Bright, S. (2014).** Mettez de l'ail dans votre vie!. Éditions Jouvence
- Chave, M., Dufils, A., Paut, R., Perrin, B., & Tchamitchian, M. (2017).** Fiche technique (2): Multiplier des champignons mycorhiziens sur son exploitation.
- Colin, L. (2016).** L'ail et son intérêt en phytothérapie (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- Debassi, B., Ferhat, A., & Khiari-Hafid, H. (2021).** Contribution à l'inventaire des arthropodes inféodés à la culture de l'oignon et de l'ail dans la région de Bir Rogaa Oum El bouaghi (Nord-Est algérien).
- Dexheimer, J., Gerard, J., Leduc, J. P., & Chevalier, G. (1985).** Étude ultrastructurale comparée des associations symbiotiques mycorhiziennes *Helianthemum salicifolium*–*Terfezia claveryi* et *Helianthemum salicifolium*–*Terfezia leptoderma*. *Canadian Journal of Botany*, 63(3), 582-591
- Debbi, A., & Guerrouche, I. (2019).** Contribution à l'étude des statuts mycorhiziens de quelques plantes de Fabaceae de la région de M'sila (Algérie) (Doctoral dissertation, Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila)
- Dix P. J., Pearce P. S., 1981** - Proline accumulation in NaCl resistant and sensitive cell lines of *Nicotiana glauca*. *Z Pflanzenphysiol* Bd . 102 : 243- 248.
- Dommergues, Y., & Mangenot, F. (1970).** Ecologie microbienne du sol.
- Egli, S., & Brunner, I. (2002).** Les mycorhizes. Notice pour le praticien, 35(8).
- El Jaafari S., 1993,** Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Doctorat Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique, 214 p.
- El Habib, C. M. (2011).** DIPLOME DE DOCTORAT (Doctoral dissertation, Université de Mascara).
- Fitiavana, R. M. F. (2015).** Fonctionnement des communautés microbiennes des sols dégradés: importance des plantes pionnières (Doctoral dissertation, UNIVERSITE D'ANTANANARIVO).
- Fischer, G.,** *Allium sativum* and *Allium ursinum*: Part 1 Chemistry, analysis, history, botany. *Phytomedicine*, 1995, vol 4, pp 323-339.

## ***Références bibliographiques***

---

- Frank, E. (1877).** Die Pfahlbaustation Schussenried. Stettner in Commiss Piché, Y., Plenchette, C., & Fortin, J. A. (2016). Les mycorhizes: L'essor de la nouvelle révolution verte. Les mycorhizes, 1-184.
- Fortin, J. A., Plenchette, C., & Piché, Y. (2015).** Les mycorhizes: la nouvelle révolution verte. Éditions MultiMondes.
- Founoune, H. (2001).** La symbiose ectomycorhizienne des acacias australiens en Afrique de l'Ouest: impact sur le développement de la plante hôte et sur le biofonctionnement du sol.
- Fortin, J. A., Plenchette, C., & Piché, Y. (2008).** Les mycorhizes. La nouvelle révolution verte. MultiMonde Quae.(Eds.), Québec
- Fortin, J. A., Plenchette, C., & Piché, Y. (2015).** Les mycorhizes: la nouvelle révolution verte. Éditions MultiMondes.
- Garbaye, J. (2013).** **La symbiose mycorhizienne:** une association entre les plantes et les champignons. La symbiose mycorhizienne, 1-280.
- Gallouz M., 2002** - Effet du sel sur l'ultra structure chloroplastique de la luzerne. Communication présentée au workchop du 7 Novembre 2002 à l'INRAT
- Goetz, P., & Ghedira, K. (2012).** *Allium sativum* L.(Alliaceae): ail. In Phytothérapie anti-infectieuse (pp. 211-220). Springer, Paris.
- Guéguen, J. C., & Garon, D. (2021).** Importance et particularités du monde fongique. In Biodiversité et évolution du monde fongique (pp. 47-86). EDP Sciences
- Hamza, N. (2018).** Application des mycorhizes arbusculaires en culture maraîchère cas de la pastèque (*Citrullus lanatus*) (Doctoral dissertation).
- Hamrit, H., & Derri, H. (2020).** Champignons mycorhiziens chez les plantes: structures et rôles (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
- Haddouche, S. (2017).** Contribution à l'étude des symbioses mycorhiziennes chez le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.): cas de la population de dayate Saadi Hassi-Delâa (wilaya de Laghouat) (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Julianus, P., Perrin, B., & Chave, M. (2019).** Des tomates mycorhizées dès la pépinière pour favoriser la nutrition et la protection des plantes: développement d'un dispositif-pilote. Cahier des Techniques de l'INRA, 7-p.
- Khawla, K., & Dounia, A. (2020).** Etude des différents types d'interactions microbiennes avec les plantes légumineuses.
- Koide, R. T., & Mosse, B. (2004).** A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza*, 14(3), 145-163
- Leye, M. E., Macoumba, D., Ndiaye, F., Bassirou, D. I. A. L. O., Maiguizo, D. H., & Tahir, D. I. O. P. (2012).** Effet de la mycorhization et de la salinité sur la croissance,

## **Références bibliographiques**

---

- les réponses biochimiques et la productivité de *Jatropha curcas* L., cultivée sous serre. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(4), 1741-1760
- Leye, E. H. M., Ndiaye, M., Ndiaye, F., Diallo, B., Sarr, A. S., Diouf, M., & Diop, T. (2009).** Effet de la mycorhization sur la croissance et le développement de *Jatropha curcas* L. *Journal of Renewable Energies*, 12(2), 269-278
- Le Tacon, F. La domestication des truffes. Lauth, J. (2013).** Conflits et stabilité évolutive dans un mutualisme tripartite plante-fourmis-champignon (Doctoral dissertation, Antilles-Guyane)
- Le Tacon, F., Bonneau, M., Gelpe, J., Boisseau, T., & Baradat, P. (1994).** Le dépérissement du pin maritime dans les landes de Gascogne à la suite des introductions de graines d'origine ibérique et des grands froids des années 1962-1963 et 1985. *Revue forestière française*, 46(5), 474-484
- Louisanna, E., de Grandcourt, A., & Garbaye, J. (2003).** Symbiose mycorhizienne et nutrition minérale. *Revue forestière française*, 55(sp), 74-83
- Louarn, G., Corre-Hellou, G., Fustec, J., Pelzer, E., Julier, B., Litrico, I., ... & Lecomte, C. (2010).** Déterminants écologiques et physiologiques de la productivité et de la stabilité des associations graminées-légumineuses. *Innovations agronomiques*, 11, 79-99.
- Louisanna, E., de Grandcourt, A., & Garbaye, J. (2003).** Symbiose mycorhizienne et nutrition minérale. *Revue forestière française*, 55(sp), 74-83.
- Louni, H., & Madani, M. (2017).** Mise en évidence des associations symbiotiques sous *Punica granatum* L. sous climat aride Cas du verger de Melaga Wilaya de Djelfa (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Mahdi, M. (2020).** Enquête sur la conduite de la culture d'ail (*Allium sativum*) dans la région de M'sila (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
- Maloum, M., Kosma, P., Goudoum, A., & Nkot, L. N. (2022).** Effet de la fertilisation minérale sur la production de trois cultivars d'ail (*Allium sativum* L.) à l'Extrême-Nord Cameroun. *Afrique SCIENCE*, 20(2), 90-102.
- N**
- Nouaim, R., & Chaussod, R. (1996).** Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes, notamment des ligneux de zones arides. *Cahiers options méditerranéennes*, 20.
- Oregon State University (2004).** *Garlic, Commercial Vegetable Production Guide*. [En ligne] <http://hort-devel-nwrec.hort.oregonstate.edu/garlic.html>
- Peterson, R. L., & Massicotte, H. B. (2004).** Exploring structural definitions of mycorrhizas, with emphasis on nutrient-exchange interfaces. *Canadian Journal of Botany*, 82(8), 1074-1088

## Références bibliographiques

---

- Ponge, J. F. (1988).** Etude écologique d'un humus forestier par l'observation d'un petit volume. III. La couche F1 d'un moder sous *Pinus sylvestris*. *Pedobiologia*, 31(1-2), 1-64.
- Piché, Y., Plenchette, C., & Fortin, J. A. (2016).** Les mycorhizes: L'essor de la nouvelle révolution verte. *Les mycorhizes*, 1-184
- Rahma, Z. E. M. R. I.** Mycorhization en conditions contrôlées du chêne vert (*Quercus ilex* L.) par la truffe noire.
- Rajasekaran, L. R. and Shanmugavelu, K. G. 1981.** Effect of different types of soil and quality of water on tomato. *South Indian Horticulture*. 28(2): 95–99.
- Read, D. J., & Stribley, D. P. (1973).** Effect of mycorrhizal infection on nitrogen and phosphorus nutrition of ericaceous plants. *Nature New Biology*, 244(133), 81-82
- Royer, M. C. (1869).** Nécessité D'Un Nouveau Signe Pour Exprimer La Durée De La Vie Chez Quelques Plantes. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 16(2), 37-38
- Rosendahl, S., & Matzen, H. B. (2008).** Genetic structure of arbuscular mycorrhizal populations in fallow and cultivated soils. *New Phytologist*, 179(4), 1154-1161.
- Schüßler, A., Schwarzott, D., & Walker, C. (2001).** A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological research*, 105(12), 1413-1421.
- Si Bennasseur, A. (2005).** Référentiel pour la Conduite Technique de l'ail (*Allium sativum*). Researchgate, 1-9
- Simard, F. (2014).** Stimulation de la synthèse des composés nutraceutiques et aromatiques dans les fines herbes et les légumes par les champignons mycorhiziens à arbuscules.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2010).** *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press. Mosse, B., Stribley, D. P., & LeTacon, F. (1981). *Ecology of mycorrhizae and mycorrhizal fungi*. In *Advances in microbial ecology* (pp. 137-210). Springer, Boston, MA.
- Suty, L. (2015).** *Les végétaux: des symbioses pour mieux vivre*. Editions Quae.
- Takilt, D. (2017).** Les mycorhizes du chêne Afares (*Quercus afares* Pomel.): Approche descriptive au stade adulte. Influence de différents régimes d'arrosage sur la croissance et la mycorhization de jeunes plants (la station de Bouchouled; la forêt de Béni Ghobri) (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Tarek, H. (2012).** Tolérance de quelques souches de rhizobia d'*Acacia hrenbergiana* à la salinité, au déficit hydrique et à la dessiccation (Doctoral dissertation, Faculté des Sciences Biologiques)
- Tredoulat T.** Cultiver l'ail avec la lune [Internet]. *Rustica*. [cité 13 oct 2015]. Disponible sur: <http://www.rustica.fr/articles-jardin/cultiver-l-ail-avec-lune-legume-racine,6529.html>
- Yagiz, A. K., Cakici, M., Aydogan, N., Omezli, S., Yerlikaya, B. A., Ayten, S., ... & Haverkort, A. J. (2020).** Exploration of climate change effects on shifting potato

## ***Références bibliographiques***

---

seasons, yields and water use employing NASA and national long-term weather data. *Potato Research*, 63(4), 565-577

**Waste magazine.** Allium sativum [Internet]. Magazine on line waste. [cité 20 oct 2015]. Disponible sur: <http://waste.ideal.es/alliumsativum.htm>

**Zeramdini, N. (2009).** Étude du polymorphisme intra-et inter-spécifique du gène  $\beta$ -tubuline chez des espèces de champignons mycorhiziens à arbuscules en vue de développer des marqueurs moléculaires

**Zhou, M., Ishidaira, H., Takeuchi, K., & Gao, Y. (2009).** Evapotranspiration in the Mekong and Yellow river basins/Evapotranspiration dans les bassins du Mekong et du Fleuve Jaune. *Hydrological sciences journal*, 54(3), 623-638.

**Zougari-Elwedi, B., Sanaa, M., Labidi, S., & Sahraoui, A. L. H. (2012).** Évaluation de l'impact de la mycorhization arbusculaire sur la nutrition minérale des plantules de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L. var. Deglet Nour). *étude Gest. des Sols*, 19(3), 193-202.

# **Annexe**

# ANNEXE

## 1. Annexe 1



Source :

Aubert, 1978

Figure 01: Mesure de  $pH_{eau}$  par pH-mètre

Tableau 01: Classification des sols suivant leur pH.

$pH_{eau}$	Nature du sol
$6,75 < pH \leq 7,25$	Neutre
$7,25 < pH \leq 8,5$	Alcalin
$> 8,5$	Très alcalin

Tableau 02 : Classification des sols suivant leur teneur en sel.

CE (mmhos/cm a 25°C)	Nature d sol
$< 0,25$	Excellente (non salin)
0,25 à 0,75	Faible salinité
0,75 à 2,25	Forte salinité
$> 2,25$	Très forte salinité

Source : Lambert, 1975

Tableau 03 : Classification des sols suivant leur teneur en matière organique.

MO%	Nature du sol
$< 0,5\%$	Très pauvre en MO
0,5 à 1,5 %	Pauvre en MO
1,5 à 2,5 %	Moyennement pourvu en MO
2,5 à 6 %	Riche en MO
6 à 15 %	Très riche en MO

Source : Belkeiri, 2000.

Tableau 04 : Appréciation de la teneur en carbone en fonction de la classe texturale.

	Polders %C
Très faible	$< 1.0$
Faible	1.0 - 1.2
Assez faible	1.3 - 1.5
Normal	1.6 - 2.6
Assez élevé	2.7 - 4.5
Elevé	4.6 - 10.0
Tourbeux	$> 10.0$

## ANNEXE



Figure 02: La détermination de la matière azotée par le dosage de l'azote totale, selon méthode de Kjeldhal.

Tableau 05 : Classification des sols suivant leur teneur en matière azote.

Azote (%) <b>KJELDAHL</b>	Nature du sol
< 0.05	Très pauvre
0.05- 0.1	Pauvre
0.1- 0.15	Moyen
0.15- 0.25	Riche
> 0.25	Très riche

### 1. Annexe 2

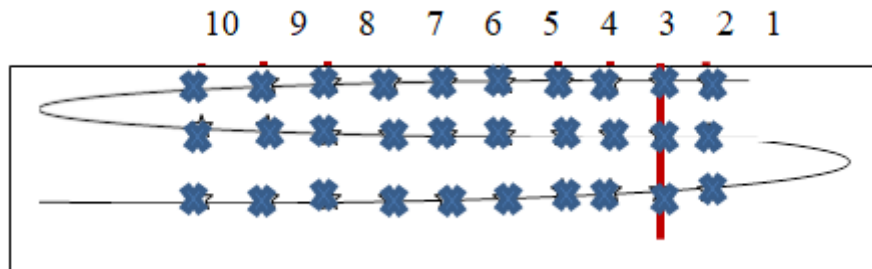


Figure 04: La lame et la méthode utilisée pour calculer le pourcentage des endomycorhizes dans les racines de l'Ail.

### 1. Annexe.3

1- Tableaux de l'analyse de la variance (ANOVA) de Concentrations de la teneur en proline sous l'effet de NaCl chez *Allium sativum*

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	1.518	14	0.108		
Var.FACTEUR 1	1.120	4	0.280	7.036	0.006
VAR.RESIDUELLE 1	0.398	10	0.040		

2- Tableaux de l'analyse de la variance (ANOVA) de concentrations de la teneur de chlorophylle A sous l'effet de NaCl chez *Allium sativum*

## ANNEXE

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	0.430	14		0.031	
Var.FACTEUR 1	0.384	4		0.096	21.244 0.000
VAR.RESIDUELLE 1	0.045	10		0.005	

### 3- Tableaux de l'analyse de la variance (ANOVA) de concentrations de la teneur de chlorophylle B sous l'effet de NaCl chez *Allium sativum*

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	0.210	14		0.015	
Var.FACTEUR 1	0.154	4		0.038	6.896 0.006
VAR.RESIDUELLE 1	0.056	10		0.006	

### 4- Tableaux de l'analyse de la variance (ANOVA) de concentrations de la teneur de Sucre totaux sous l'effet de NaCl chez *Allium sativum*

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	0.211	14		0.015	
Var.FACTEUR 1	0.170	4		0.042	10.139 0.002
VAR.RESIDUELLE 1	0.042	10		0.004	

### 5- Tableaux de l'analyse de la variance (ANOVA) de concentrations de la teneur de GB sous l'effet de NaCl chez *Allium sativum*

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	0.224	14		0.016	
Var.FACTEUR 1	0.087	4		0.022	1.595 0.250
VAR.RESIDUELLE 1	0.137	10		0.014	

### 6- Tableaux de l'analyse de la variance (ANOVA) de concentrations de NaCl sur la densité symbiotique des champignons mycorhiziens chez *Allium sativum*

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	43.477	14		3.106	
Var.FACTEUR 1	29.897	4		7.474	5.504 0.013
VAR.RESIDUELLE 1	13.580	10		1.358	