

République Algérienne Démocratique et Populaire.

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques.

Département Microbiologie-Biochimie.



## ***Mémoire de fin de cycle d'études***

*En vue de l'obtention du diplôme de Master.*

*Domaine : Science de la Nature et de la Vie.*

*Spécialité : Biotechnologie et Valorisation des plantes.*

### **Thème**

***Effet de la margine sur la symbiose endomycorhizienne chez deux cultures *Triticumsecale* et *Vicia faba minor L* (féverole).***

**Présenté par :**

**M<sup>elle</sup> HAMIDACHE Lyliia.**

**Devant les jurys composé de :**

**Présidente : M<sup>me</sup> Harchaoui-BournineC.**

**M.C.B. L'UMMTO.**

**Promotrice : M<sup>me</sup> Kadi-Bennane S.**

**M.C.B. L'UMMTO.**

**Co- Promoteur: M<sup>r</sup> Medjbeur DJ.**

**M.C.B. L'UMMTO.**

**Examinatrice : M<sup>me</sup> Mezaour N.**

**M.A.A. L'UMMTO.**

**Promotion: 2019-2020**

## **Remerciement**

*Je remercie tout d'abord le bon Dieu qui m'a donné le courage et la patience pour terminer ce modeste travail.*

*Je tiens à exprimer mes remerciements et ma profonde gratitude à ma Promotrice **M<sup>me</sup> Kadi- Bennane** et mon Co-Promoteur **M<sup>r</sup> Medjbeur** qui ont acceptées de m'encadrer, de diriger ce travail, et pour leurs aides pédagogiques et scientifiques très précieuses.*

*Je remercie les membres du jury qui m'ont honoré en acceptant d'examiner ce travail :*

***M<sup>me</sup> Harchaoui-Bournine**, qui m'a fait le grand honneur de présider ce jury.*

***M<sup>me</sup> Mezaour**, A d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Je tiens à remercier **M<sup>eme</sup> Bedad**, l'ingénieur du laboratoire pour sa précieuse aide, et son patience.*

*Mes sincères respects et remerciements vont également à notre responsable de spécialité **M<sup>eme</sup> Boudiaf Nait-Kaci** et à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.*

# Dédicaces

A La mémoire de mon père

A ma chère mère

A ma chère sœur

A mon cher oncle

A tous ceux qui mon chères de ma famille, mes amies  
particulièrement à ma chère *Thinhinane*

## Résumé

Les margines sont des eaux usées produites lors de la trituration des olives. Leurs rejets dans la nature constituent un problème pertinent de pollution environnementale pour les pays producteurs de l'huile d'olive notamment l'Algérie. La richesse des margines en matières organique et en sels minéraux a permis leurs usages comme bio-fertilisant pour augmenter la fertilité des sols à des doses réglementées au niveau international. Plusieurs études ont été menées dans le cadre de la production en biomasse et croissance de plusieurs espèces à intérêt fourragées et de sécurités alimentaires. Cependant, l'aspect équilibres de la flore et de la faune édaphique a été peu voir insuffisamment pris en considération. Notre contribution a pour but l'étude de l'effet de la margine sur la communauté symbiotiques particulièrement endomycorhizienne de deux cultures : la Féverole et le Triticale cultiver seul et en association à deux stades de cultures 45jours et à 70 jours. Après la mise en place de protocole de Phillips et Hayman (1967), afin de mettre en évidence la présence ou l'absence des différentes structures, nous avons quantifié les différentes structures par comptages directe et estimé la colonisation des racines. Les résultats obtenus montrent la présence d'une colonisation endomycorhizienne. Des fréquences de mycorhization ont été calculées chez les espèces étudiées pour les deux traitements où on a trouvées des fréquences de 100%. Une légère baisse de l'intensité de mycorhization à été trouvé pour les racines de Triticale traité par la margine par rapport aux racines témoin pour les deux cultures (cultures pur et aussi associées) dans les deux stades. Pour le cas des racines de la féverole associées de premier stade on remarque une légère augmentation de l'intensité de mycorhization (de 45,99% sans margine à 59,33avec margine). La teneur en arbuscules du la partie mycorhizée marqué par une légère diminution les racines traité par la margine par rapport aux celle du témoin dans les deux stades et aux deux cultures (associé et cultures pur). Dans le cas des racines de la féverole associées au triticale dans le premier stade la teneur en arbuscules du la partie mycorhizée est de 61,84 (sans margine) et de 39,66 dans les racines traité par la margine où on remarque une diminution.

**Mots clés :** Margine, Triticale, Féverole, Colonisation endomycorhizienne.

## **Abstract**

The vegetable waters are waste water produced during the crushing of olives. Their releases into nature constitute a relevant problem of environmental pollution for olive oil producing countries, especially Algeria. The richness of vegetable waters in organic matter and mineral salts has enabled their use as a bio-fertilizer to increase soil fertility at doses regulated at international level. Several studies have been carried out in the context of biomass production and growth of several species of fodder interest and food security. However, the aspect of balances of flora and edaphic fauna has been little or even insufficiently taken into account. Our contribution aims to study the effect of vegetable water on the symbiotic community, particularly endomycorrhizal, of two cultures: Faba bean and Triticale, cultivated alone and in combination at two stages of cultures 45 days and 70 days. After the implementation of the protocol of Phillips and Hayman (1967), in order to demonstrate the presence or absence of the different structures, we quantified the different structures by direct counting and estimated the colonization of the roots. The results obtained show the presence of endomycorrhizal colonization. Mycorrhization frequencies were calculated in the species studied for the two treatments where frequencies of 100% were found. A slight decrease in the intensity of mycorrhization was found for the roots of Triticale treated with vegetable water compared to the control roots for the two cultures (pure and also combined cultures) in both stages. In the case of associated first-stage faba bean roots, a slight increase in the intensity of mycorrhization (from 45.99% without vegetable water to 59.33% with vegetable water) is noted. The arbuscular content of the mycorrhizal part marked by a slight decrease in the roots treated with vegetable water compared to that of the control in the two stages and in the two cultures (associated and pure cultures). Triticale in the first stage the content of arbuscules in the mycorrhizal part is 61.84 (without vegetable water) and 39.66 in the roots treated with vegetable water where a decrease is observed

**Key words:** Margine, Triticale, Faba bean, Endomycorrhizal colonization.

## **Liste des Annexes**

Annex 01 : Résultats des différents taux d'endomycorhization chez les deux espèces étudiées dans les deux traitements.

Annex 02 : Statistiques descriptives des variables de colonisations endomycorhiziennes mesurées du la Féverole.

Annex 03 : Statistiques descriptives des variables de colonisation endomycorhiziennes mesurées du Triticale.

Annex 04 : Résultats de test du Tukey chez le Triticale.

Annex 05 : Résultats de test du Tukey chez la Féverole.

## Liste des abréviations

F% : fréquence de mycorhization

M% : Intensité de mycorhization

a% : Teneur en arbuscules du la parie mycorhizée

A% : Teneur en arbuscules du système racinaire

M : Moyenne

ET : Ecartypes

CV : Coefficient de variation

CA : Coefficient d'aplatissement

CD : Coefficient de dissymétrie

cm : Centimètre

µm : Micromètre

T0 S : Triticale sans margine seule

T0 (F) : Triticale sans margine associée a la Féverole

T1 S : Triticale avec margine seule

T1 (F) : Triticale avec margine associée a la Féverole

F0 S : Féverole sans margine seule

F0 (T) : Féverole sans margine associée au Triticale

F1 S : Féverole avec margine seule

F1 (T) : Féverole avec margine associée au Triticale

## List des figures

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : Principaux types mycorhiziens actuels représentés sur une coupe transversale d'une racine modifiée(Le Tacon, 1985).....  | 10 |
| Figure 2 : Anatomie des MA. Abréviations: A : Arbuscule; AP: Appressorium; S: Spore; H : Hyphe intracellulaire ; M : Mycélium extra-racinaire ; B : Bobine ; V : Vésicule (Palenzuela&Barea, 2002 ; Priou, 2013)..... | 14 |
| Figure 3 : Schématisation de l'établissement de la symbiose mycorhizienne (A) et du cycle de vie des CMA ((B), modifié d'après Akiyama, 2007;Rivaton, 2016).....  | 15 |
| Figure 4 : Dispositif expérimental sous serre (Hachemi et Berrfane ,2016).....  | 23 |
| Figure 5: Matériels végétal (A : triticale en monoculture ; B : féverole en monoculture ; C:association triticale/féverole) (Hachemi et Berrfane, 2016).....  | 24 |
| Figure 6 : Echelle d'intensité de colonisation du cortex racinaire.....   | 27 |
| Figure 7 : Echelle d'évaluation de la présence des arbuscules.....  | 27 |
| Figure 8 : Racine de Triticale observée sous microscope optique (G X400).(A :Arbuscule),(B,C :Endophytes),(D :Vésicules),( E :Arbuscule), ( F :Hyphes).....   | 29 |
| Figure 9 : Racine de la Féverole observée sous microscope optique (G X400) (A : Arbuscule), (B : Hyphe avec arbuscule), (C : Hyphes), (D : Endophyte), (E : Vésicules).....   | 30 |

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Dispositif expérimental (Hachemi et Berrfane ,2016).

# Table des Matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste annexes

Liste des abréviations

Introduction générale ..... 1

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

I. la margine..... 3

I.1 Définition ..... 3

I.2 Composition des margines..... 3

I.2.1 Fraction minérale ..... 3

I.2.2 Fraction organique ..... 3

I.3 La margine et l'environnement..... 4

I.4 La margine et le sol..... 5

I.5 Utilisation des margines comme fertilisant..... 6

II. Mycorhization ..... 8

II.1 Introduction..... 8

II.2 Les plantes et les champignons..... 8

II.3 Les types des mycorhizes..... 9

II.3.1 Les ectomycorhizes ..... 9

II.3.2 Les ectoendomycorhizes ..... 9

II.3.3 Les endomycorhizes ..... 10

II.3.3.1 Les mycorhizes Arbutoides et Monotropides..... 10

|   |    |
|---|----|
| II.3.3.2 Les mycorhizes orchidoides .....   | 11 |
| II.3.3.3 Les mycorhizes éricoides .....   | 11 |
| II.3.3.4 Les mycorhizes arbusculaires et vésicules .....                            | 12 |
| II.4 Caractéristiques morphologiques des mycorhizes arbusculaires .....             | 13 |
| II.5 La colonisation des racines par les champignons mycorhizes arbusculaires ..... | 14 |
| II.6 Rôles des mycorhizes .....   | 16 |
| II.6.1 Mycorhization et amélioration de la nutrition minérale .....                 | 16 |
| II.6.2 Amélioration de la nutrition phosphaté .....                                 | 16 |
| II.5.3 Amélioration de la nutrition en oligo-éléments .....                         | 16 |
| II.6.4 Mycorhization et le statut hydrique de la plante .....                       | 17 |
| II.6.5 Activité hormonale .....   | 17 |
| II.6.6 Résistance aux maladies .....  | 17 |
| III. Triticale et Féverole .....  | 19 |
| III.1 Triticale ( <i>Triticum secale</i> ) .....                                    | 19 |
| III.1.1 Origine du triticale .....  | 19 |
| III.1.2 Importance économique et intérêts agronomique des triticales .....          | 19 |
| III.2 La Féverole .....   | 20 |
| III.2.1 Origine de la plante .....  | 20 |
| III.2.2 Importance économique et intérêts agronomique de la féverole .....          | 21 |
| III.3 Association culture Triticale/Féverole .....                                  | 21 |
| Chapitre 2 : Matériels et méthodes  |    |
| I. Dispositif expérimental .....  | 23 |
| II.1 Protocole de coloration et d'observation des racines .....                     | 25 |

|   |    |
|---|----|
| II.2 Observation, Estimation et quantification directe des structures |    |
| endomycorhization .....   | 25 |
| III. Traitement et analyse des données .....                          | 28 |
| Chapitre 3 : Résultats et Discussion                                  |    |
| I. Description des endomycorhizes .....                               | 29 |
| I.1. Au premier stade .....   | 30 |
| I.2 Au deuxième stade .....   | 33 |
| Discussion générale .....   | 36 |
| Conclusion générale .....   | 38 |
| Références bibliographiques   |    |
| Annexes   |    |

## Introduction générale

---

Les margines sont des eaux usées produites lors de la trituration des olives. Étant riches en matières organiques et en sels minéraux, elles peuvent augmenter l'activité biologique des sols et par conséquent leur fertilité (Yaakoobi et *al.*, 2009). En l'absence des méthodes de traitement préalable, ces effluents constituent une sérieuse source de pollution de l'environnement du fait de leur salinité élevée et surtout de leur forte charge en composés phénoliques responsables de cette pollution. Cependant, la teneur considérable des margines en matière organique et en éléments minéraux en particulier en potassium constitue un facteur prometteur pour la valorisation de cette substance comme fertilisant en agronomie (Dakhli et *al.*, 2009). L'effet de l'épandage des margines sur l'activité microbienne du sol, est un problème à propos duquel existe une grande confusion et des divergences d'opinions. Il est vrai que plusieurs microorganismes du sol utilisent la matière organique des margines comme seule source de carbone. Des chercheurs ont noté une diminution de la capacité d'adaptation de certains microorganismes du sol en présence des margines. Sahouri et *al.*, (2012) expliquent ce phénomène de diminution par une sélection des microorganismes les mieux adaptés à la croissance en présence des margines. Le comportement des champignons symbiotiques est très peu documenté. Le devenir de ces champignons serait-il compromis ?

La symbiose est une association intime (c'est-à-dire avec pénétration des tissus de l'un des deux organismes dans ceux de l'autre, ou à l'intérieur même des cellules) quelle est bénéfique pour les deux partenaires engagées dans cette relation. Parmi les premières associations symbiotiques entre les plantes et les micro-organismes de sol étudié, la symbiose mycorhizienne a été l'une des relations les plus étudiées. Cette étroite relation entre les plantes supérieures et les micro-organismes que sont les champignons s'élabore au niveau des racines. Les organes résultant de cette association sont appelés mycorhizes.

La symbiose mycorhizienne est devenue indispensable à la vie des végétaux où elle facilite leur alimentation en eau et en sels minéraux. La symbiose mycorhizienne joue un rôle important dans le développement de la plante. Karagiannidis et Hadjisavva-Zinoviadi, (1998) ont montré que certaines espèces de champignons mycorhiziens peuvent augmenter la biomasse de plantes cultivées jusqu'à 11,6 fois et leur rendement 5,4 fois en comparaison avec des plantes non-inoculées. D'autre part, elles permettent de réduire la contamination environnementale par leur capacité à capter les nutriments du sol, provoquant une diminution de l'usage de fertilisants chimiques tout en garantissant de bons rendements (Dodd et *al.*, 1987; Joner et Johansen, 2000 ;Priou, 2013).

## Introduction générale

---

Dans le cadre de l'étude de l'effet de la margine sur la microflore symbiotique du sol, qui vise à compléter les travaux de Hachemi et Berrefane (2016) concernant la problématique de la margine en tant que polluant et la possibilité de son usage tel un biofertilisant, Nous nous sommes donc intéressé à l'impact de l'épandage de la margine sur la communauté endomycorhizienne de triticales et de la fève, deux espèces à intérêt fourragé économique.

Notre travail est scindé en deux parties

La première partie est la partie bibliographique qui synthétise une bibliographie sur la margine, les mycorhizes et en dernier des généralités sur les espèces concernées par l'étude triticales et la fève.

La deuxième partie est la partie expérimentale qui comprend un chapitre sur matériels et méthodes utilisées, un autre sur les résultats et discussions et en dernier une conclusion générale.

## **I. La margine**

### **I.1 Définition**

Lors de la production de l'huile d'olive, des rejets liquides produits sont considérés comme des déchets ou sous-produits très riche en matière organique et en éléments minéraux appelé margine.

Selon Zghari et *al.*, (2018), les margines présentent des déchets liquides de mélanges complexes de couleur brun noirâtre. Elles sont constituées de 83 à 96% d'eau, sucre, substances azoté, acides organique, poyphénols, polyalcools, pectines, tanins et substances inorganiques.

En général, les margines contiennent une variété de composés organique et inorganique de concentration et de nature différentes. Plusieurs facteurs peuvent affecter leur qualité et leur composition chimique pendant l'extraction et /ou après leur rejets dans le milieu récepteur, notamment : la variété d'olive, la maturité des fruits, les conditions climatiques, la nature du sol, les pratiques agronomiques de culture et de récolte, l'âge des oliviers et les méthodes d'extraction (Zghari et *al.*, 2018).

### **I.2 Composition des margines**

#### **I.2.1 Fraction minérale**

Les margines contiennent des quantités significatives de sels minéraux (Achak et *al.*, 2008), dont 80% sont solubles (phosphates, sulfates et chlorures) et 20% insolubles (carbonates et silicates). Les éléments les plus représentatifs sont le potassium (47%), les carbonates (21%), les phosphates (14%) et le sodium (7%) (Israilides et *al.*, 1997 ;Al Mallah et *al.*,2000) . Ces valeurs montrent que les margines peuvent être utilisées comme fertilisants des terres agricoles.

#### **I.2.2 Fraction organique**

La matière organique des effluents d'huileries d'olive est constituée de glucides (13-53%), de protéines (8- 16%), de composés phénoliques (2-15%), de lipides (1-14%), de polyalcools (3 - 10%) et d'acides organiques (3-10%) (D'Ursinos et Borja-Padilla, 1996). Cette composition résulte de la destruction des tissus de l'olive au cours de la trituration et de l'extraction de l'huile (Al Mallah et *al.*, 2000).

Les glucides sont essentiellement représentés par la cellulose et les pectines, ces dernières jouant un rôle important dans la texture des olives (Obied et *al.*, 2005). Egalement, de nombreux travaux ont montré que les margines sont très riches en sucres simples, en particulier : le raffinose, le saccharose, l'arabinose, le xylose, le mannose et le fructose (Fezzani et Ben Cheikh, 2009).

La fraction azotée est principalement représentée par les protéines. Tous les acides aminés ont été identifiés dans les margines. Les plus abondants sont l'acide aspartique, l'acide glutamique et l'arginine (Parinos et *al.*, 2007).

Les principaux acides organiques rencontrés sont les acides formique, oxalique, lactique, malique, oléique, palmitique et citrique (Parinos et *al.*, 2007).

Les composés phénoliques sont des substances organiques cycliques très variées. Selon Jail et *al.*, (2003) leur solubilisation dans l'huile est inférieure à celle des eaux de végétation, ce qui explique leur concentration élevée dans les margines. Selon Celine et *al.*, (2012) ces composés ont une structure variable. Ils proviennent de l'hydrolyse enzymatique des glucoses et des esters de la pulpe des olives au cours du processus de l'extraction. La variation de la quantité des composés phénoliques dans les margines dépend de la méthode de trituration des olives, la variété des olives, la durée de stockage des margines et du procédé d'extraction. On peut distinguer, trois familles principales : les familles de l'acide cinnamique, de l'acide benzoïque et de tyrosol.

### **I.3 La marge et l'environnement**

L'absence des méthodes efficaces de traitement et de valorisation ainsi que du contrôle rigoureux (pollueur-payeur) poussent les propriétaires des huileries à rejeter leurs margines directement dans les cours d'eau sans aucun traitement préalable (Zghari et *al.*, 2018). Le rejet des margines non traitées et extrêmement chargées en matières organiques pose un problème écologique majeur pour les pays producteurs de l'huile d'olive. En raison de la charge organique fortement toxique (Dermeche et *al.*, 2013 ; Zghari et *al.*, 2018), l'acidité du pH et la forte demande chimique en oxygène (DCO) et biologique (DBO). Les margines exercent une activité polluante très élevée, comme déjà montré dans plusieurs études (Aharonov-Nadborny et *al.*, 2017 ; Yay et *al.*, 2017 ; Zghari et *al.*, 2018).

Le phénomène de contamination commence d'abord par le changement de coloration des eaux naturelles et le dégagement des odeurs nauséabondes (pollution ponctuelle) entraînant

une pollution à longue distance des 3 matrices de l'écosystème en contaminant les eaux de surface et souterraines ainsi qu'une pollution diffuse du sol, et une pollution atmosphérique (El-Abbassi et *al.*, 2014 ;Zghari et *al.*, 2018). Il en résulte aussi une nuisance sur la santé humaine, sur la santé des animaux (sources d'abreuvement polluées) et aussi au niveau de l'agriculture (sources d'irrigation contaminées) engendrant ainsi une phytotoxicité et des maladies graves. Cet impact se produit en raison de leur pouvoir d'inhiber le développement de certains micro-organismes et de plantes, de modifier les propriétés physico-chimiques du sol et de contaminer la nappe phréatique (Achak et *al.* ,2009 ; Zghari et *al.*, 2018).

Plusieurs études ont montré que les composés phénoliques contenus dans les margines présentent un inconvénient majeur pour l'environnement et ils sont principalement les responsables de la toxicité (Paixao et *al.*, 1999 ; Zghari et *al.*, 2018) et de la phyto-toxicité (Ibrahimoglu B., Zeki Yilmazoglu, 2018 ; Komilis et *al.*,2005 ; Galliou et *al.*, 2018 ; Zghari et *al.*, 2018), en plus d'une faible biodégradabilité causée par la présence d'une grande quantité de polyphénols (Bouknana et *al.*, 2014 ;Zghari et *al.*, 2018), de composés aromatiques, d'acides gras libres et de sels inorganiques (Zghari et *al.*, 2017 ;Zghari et *al.*, 2018). En effet, Les composés phénoliques sont reconnus comme étant des molécules stables et s'oxydent difficilement; en outre, leur forte concentration en sucre réducteur stimule la respiration microbienne en réduisant aussi d'avantage la concentration de l'oxygène dissous, ce qui rend l'air irrespirable et cause une asphyxie dans la vie aquatique (Khoufi et *al.*, 2015 ;Zghari et *al.*, 2018). La présence des lipides dans les margines forment au niveau de la surface de l'eau du milieu récepteur un film impénétrable, empêchant ainsi la pénétration de la lumière (réactions de photosynthèse) et de l'oxygène, et dont le résultat est la destruction totale de la faune et de la flore aquatique et l'inhibition du développement à la fois des microorganismes et des plantes (Dermeche et *al.*, 2013 ;Ben Sassi et *al.*,2006 ; Zghari et *al.*, 2018). Ce phénomène ayant pour conséquence d'entraîner la dégradation de la qualité des eaux. En revanche, la capacité d'autoépuration sera limitée et la pollution peut s'étendre sur de très longues distances (Zghari et *al.*, 2017 ; Zghari et *al.*, 2018).

#### **I.4 La margine et le sol**

Différentes recherches ont démontrées que l'épandage des margines avait des répercussions agronomiques défavorables, liés essentiellement à la teneur élevée en substances phénolique non facilement biodégradable. Cependant, l'effet de l'épandage des margines sur l'activité microbienne du sol, est un problème à propos duquel existe une grande confusion et des

divergences d'opinions, en raison essentiellement, de la différence des doses appliquées, des conditions édaphiques (texture du sol) et climatique. Toutefois, plusieurs microorganismes du sol utilisent la matière organique des margines comme seule source de carbone. D'un autre côté, plusieurs chercheurs ont noté une diminution de la capacité d'adaptation de certains microorganismes du sol en présence des margines. Cette diminution est préalablement due à une sélection des microorganismes les mieux adaptés à la croissance en présence des margines (Sahouri et *al.*, 2012).

En présence des margines, une amélioration de la microflore du sol s'établit et devient capable de décomposer les éléments phytotoxiques tels que les polyphénols. Les phénols contenus dans les margines peuvent être dégradés par les bactéries et les champignons, suite à une hydrolyse enzymatique (Sahouri et *al.*, 2012).

D'autres études et dans le but d'étudier le développement des microorganismes en présence des margines, ont montré que les levures et les champignons sont capables de se développer mieux que les bactéries (Aissam et *al.*, 2007). Ces micro-organismes supportent la salinité élevée et le pH acide caractéristique de ces effluents et résistent plus que les bactéries aux substances phénoliques.

### **I.5 Utilisation des margines comme fertilisant**

De nombreux travaux et études ont été publiés et ont montré l'effet favorable des margines sur la fertilité des sols. Cela grâce à la richesse des margines en éléments minéraux nutritifs et en matière organique. Les margines sont notamment utilisées pour préserver et maintenir la productivité des sols arides (Bouajila et *al.*, 2015).

En effet, des expérimentations agronomiques menées avec des doses d'apport conformes aux règles de fertilisation, ont toutes montré l'effet favorable des margines sur la fertilité des sols, car d'une part, elles ne contiennent pas de métaux lourds et de microorganismes pathogènes, et d'autre part, elles sont riches en éléments minéraux nutritifs (K, N, P). De plus, du fait de leur composition riche en matière organique, elles représentent un excellent substrat pour le développement de la microflore qui permet d'améliorer les propriétés physico-chimiques du sol (Yaakoubi et *al.*, 2009).

Giovacchino et *al.* (2002), dans leur étude dont le but était de contribuer à la connaissance des effets de l'épandage des margines pendant une longue période sur des sols co-plantés de maïs (plus de 10 ans) et de vigne (plus de 5 ans). Les résultats obtenus ont montré que pour les

deux sols la productivité a augmentée. L'emploi des margines à des doses élevées a permis d'obtenir une biomasse totale supérieure de 30 à 40% que celle obtenue sur des parcelles témoins.

## **II. Mycorhization**

### **II.1 Introduction**

Plus de 95% des plantes terrestres vivent en symbiose avec les champignons (Smith et Read, 1997 ; Rivaton, 2016). Les Basidiomycètes, Ascomycètes et Gloméromycètes sont les trois seuls groupes de champignons connus qui ont la possibilité de mettre en place des symbioses via leur association avec les racines des plantes pour former des mycorhizes (Garbaye, 2013 ; Rivaton, 2016).

D'après Boullard (1968); ce n'est que en 1885 que Frank a décrit le complexe de la mycorhization, qu'il crée le mot « mycorhize » et qu'il explique les relations entre les deux organismes associés. Il ne faut pas oublier les écrits de Pfeiffer qui supposa le premier, en 1877, que les champignons associés aux racines de divers arbres devaient servir de convoyeurs de substances tirées de l'humus au bénéfice de la plante hôte (Trépanier, 1998). Le terme mycorhize d'origine grecque signifie champignon-racine (mukēs = champignons, rhiza = racine) (Harley et Smith 1983 ; Rivaton, 2016). La mycorhize est une association de type symbiotique, c'est-à-dire que chacun de partenaires engagés (symbiotes) tire des profits de cette union. Le terme symbiose exclut ainsi toute notion de parasitisme ou de commensalisme où seul l'un des individus recevrait de son hôte, voire sa victime, sans rien donner en retour. Ainsi, l'association mycorhizienne est basée sur des bénéfices réciproques et s'articule autour d'échanges bidirectionnels d'éléments nutritifs entre les symbiotes. Les champignons fournissent à la plante mycorhizée une grande partie des minéraux et de l'eau que celle-ci requiert et qu'elle se procurerait bien plus difficilement seule sur sol naturel non fertilisé. La plupart des minéraux se retrouvent dans le sol en quantités limitées et, de plus, leur mobilité est souvent limitée (Marschner 1990 ; Lerat, 2003).

### **II.2 Les plantes et les champignons**

La symbiose mycorhizienne est indispensable à la vie des végétaux terrestres : 80% des plantes supérieures (plantes à racines) doivent obligatoirement être mycorhizées pour leur alimentation en eau et en sels minéraux (Lavaud, 2019).

Certaines plantes pérennes peuvent entretenir plusieurs types de symbioses avec des champignons différents pour de courtes périodes et à différents moments de leur vie (Lavaud, 2019).

La symbiose est une relation complexe d'équilibre entre les partenaires, qui peut glisser vers le parasitisme si l'hôte végétal est affaibli, puis vers la saprotrophie (le recyclage de matière morte) après sa mort (Lavaud, 2019).

La symbiose mycorhizienne est continuellement instable, la croissance permanente des racines obligeant les champignons à les coloniser au fur et à mesure tout en livrant un combat permanent avec leurs concurrents (Lavaud, 2019).

D'autres facteurs peuvent venir accentuer cette instabilité, comme des changements environnementaux, les saisons, les interventions dans le milieu (coupe d'arbre, passage d'engins, tempête, etc.) ou l'action de la microfaune mycophage (animaux consommateurs de champignons et inférieurs à 0,1 millimètre) (Lavaud, 2019).

De plus, les mycorhizes ne sont fonctionnelles que pendant quelques mois à quelques années, ce qui implique un renouvellement et permet à la concurrence de s'installer (Lavaud, 2019).

Aujourd'hui les bienfaits des mycorhizes ne sont plus à démontrer dans la sylviculture, l'horticulture et plus récemment dans l'agriculture (Lavaud, 2019).

La mycorhization permet aux plantes de compenser leur absence de mobilité et leur faible emprise racinaire, les mycorhizes prolongent le rayon de prospection des racines et permettent de puiser plus d'éléments nutritifs (Lavaud, 2019).

## **II.3 Les type des mycorhizes**

### **II.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. Les partenaires fongiques sont des champignons supérieurs généralement macroscopiques Ascomycètes et surtout Basidiomycètes (Harley et Smith, 1983; Smith et Read, 1997; Fortin *et al.*, 2008) (figure 1).

### **II.3.2 Les ectendomycorhizes**

Les ectendomycorhizes possèdent à la fois des caractères d'ectomycorhizes (la présence du manteau et du réseau intercellulaire) (réseau du Hartig), et des caractères d'endomycorhizes

(la colonisation des cellules racinaires par les hyphes mycéliennes). Ce type d'association symbiotique est formé par des champignons mycorhiziens de type Basidiomycètes (Nikola, 1988) (figure1).

### II.3.3 Les endomycorhizes

Les endomycorhizes sont plus diversifiés que les ectomycorhizes et se retrouvent aussi bien dans les racines des espèces herbacées que dans les racines des arbres appartenant aux Angiospermes, Gymnospermes et Ptéridophytes, ainsi que les gamétophytes de quelques mousses, lycopes et des Psilotales (Peterson *et al.*, 1981 ; Pocock et Duckett, 1984 ). Divers groupes fongiques sont impliqués dans la formation de ces associations. Les endomycorhizes sont classés en mycorhizes arbusculaires, mycorhizes éricoïdes, mycorhizes arbutoides, mycorhizes monotropoides et les mycorhizes d'orchidées (Peterson *et al.*, 2008)(figure1).

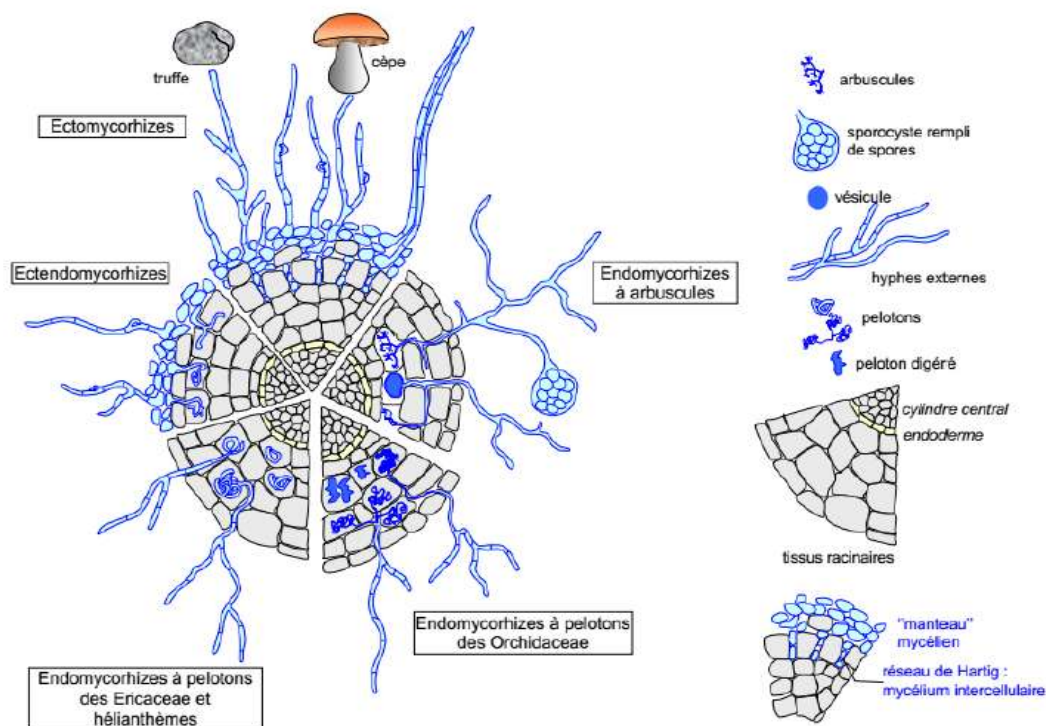


Figure 1 : Principaux types mycorhiziens actuels représentés sur une coupe transversale d'une racine modifiée (Le Tacon, 1985).

#### II.3.3.1 Les mycorhizes Arbutoides et Monotropoides

Ce type de symbiose mycorhizienne ne se rencontre que chez deux sous familles de plantes de la famille des Ericacées dans l'ordre des Ericales : les Ericoidées (et encore seulement les deux genres *Arbutus*, les arbusiers et *Arctostaphylos*, les busseroles ou raisins d'ours) et les

Pyroloïdes (tous les genres, par exemple *Pyrola* et *Orthilia*, les pyroles ou piroles) ; les Pyroloïdes sont d'ailleurs phylogénétiquement très proches des Ericoïdées. Les espèces concernées peuvent être herbacées (comme les piroles), ligneuses buissonnantes (comme les raisins d'ours) ou arborescentes (comme certaines arbousiers), mais elles ont en commun des habitats de types forêt ou maquis où elles cohabitent avec des arbres à ectomycorhizes.

Extérieurement, rien ne distingue une mycorhize arbutoïde d'une ectomycorhize typique, si ce n'est que le manteau peut parfois être extrêmement ténu. Le siège de cette symbiose est une racine courte, et la diversité de forme générale, de ramification, de couleur et de texture du manteau est la même que chez les ectomycorhizes.

L'observation au microscope de coupes de mycorhizes arbutoïdes montre aussi un réseau de Hartig semblable à celui des ectomycorhizes mais, comme chez les ectendomycorhizes, les hyphes de ce réseau émettent des branches latérales qui perforent la paroi de certaines cellules du cortex racinaires à l'intérieur desquelles elles prolifèrent en repoussant la membrane jusqu'à former un amas dense de mycélium. Et ensuite avoir une série de partenaires fongique. (Garbaye, 2013).

Les mycorhizes Monotropoïdes sont distincts de mycorhizes arbutoïdes par le fait que les cellules épidermiques sont envahies par un seul hyphe formant une «tige» autour de laquelle la cellule hôte élabore une paroi et une membrane plasmique. Par contre, les mycorhizes arbutoïdes développent un complexe d'hyphes dans les cellules de l'épiderme (Petercon*et al.*, 2004).

### **II.3.3.2. Les mycorhizes Orchidoïdes**

Elles sont limitées à la grande famille des Orchidacées, et sont uniques car les associations fongiques se font avec des cellules d'embryons de graines en germination (Peterson *et al.*, 1998), ainsi qu'avec les racines des jeunes plants et des plantes adultes. Ce type de mycorhize forme des bobines intracellulaires appelé pelotons. Les espèces fongiques impliquées sont des Basidiomycètes (Peterson *et al.*, 2008).

### **II.3.3.3 Les mycorhizes Ericoïdes**

Elles se rencontrent chez les familles des Ericacée et des Epacridacées. Ce type est extrêmement important dans les écosystèmes où l'azote du sol est lié dans divers composés organiques. Les cellules épidermiques des racines sont colonisées par les hyphes fongiques

qui forment des hyphes intracellulaires complexes. Les quelques espèces fongiques identifiées appartiennent aux Ascomycètes.

#### **II.3.3.4 Les mycorhizes arbusculaires et à vésicules (Endomycorhizes):**

Les mycorhizes arbusculaires (MA) constituent le type de symbiose le plus répandu dans la nature. Elles sont présentes sur 80% des plantes, principalement les Angiospermes, les Gymnospermes, les Bryophytes et les Ptéridophytes (Priou, 2013).

Les AMF (Arbuscular Mycorrhizal Fungi), sont microscopiques, au contraire d'autres champignons formateurs de mycorhizes. Les champignons endomycorhiziens à vésicules et à arbuscules appartiennent à l'ordre des Glomales de la classe des Zygomycètes. Les genres les plus connus sont les *Glomus*, les *Gigaspora* et les *Acaulospora* (Torrey, 1992 ; Trépanier, 1998). Ce sont des champignons montrant très peu de spécificité envers leurs hôtes. En effet, plus de 300000 espèces des plantes sont mycorhizées par seulement 130 espèces de champignons endomycorhiziens (Kendrick, 1992 ; Trépanier, 1998). Le cycle de reproduction sexuée des membres de cet ordre reste pour l'instant inconnu. Leur reproduction n'est donc assurée que par des spores asexuées (conidies). Ces spores sont souvent très grosses (50-600µm) et se rencontrent fréquemment dans la plupart des sols (Kendrick, 1992 ; Trépanier, 1998). Le mycélium du champignon est formé d'hyphes non –septées et ramifiées qui peuvent développer deux structures importantes, les arbuscules et les vésicules. Les arbuscules sont des hyphes très ramifiées, ayant l'apparence d'un arbre, et se forment uniquement à l'intérieur des cellules, entre la paroi et la membrane cytoplasmique. La membrane des ultimes digitations est fine, sa perméabilité est grande et sa surface développée est considérable (Trépanier, 1998). La durée de vie des arbuscules est courte. Après 4 à 15 jours, l'arbuscule dégénère et la cellule de l'hôte retrouve son état normal (Kendrick, 1992 ; Trépanier, 1998).

Les vésicules sont plutôt des renflements sphériques ou ovoïdes et peuvent être intra ou intercellulaires. Ils ont un rôle d'entreposage de lipides, de potassium, de calcium et de magnésium (Werner, 1992 ; Trépanier, 1998). On y retrouve également des noyaux en abondance et un protoplasme très dense. Les vésicules peuvent servir d'organe de réserve ou d'organes de survie. Une seule vésicule peut en effet redonner un organisme complet et fonctionnel (Boullard, 1968 ; Trépanier, 1998). A l'extérieur de la racine se développe un fin réseau d'hyphes explorant le sol. Ces hyphes peuvent s'étendre jusqu'à 8cm de la racine hôte (Kendrick, 1992 ; Trépanier, 1998). C'est pourquoi une plante mycorhizée peut exploiter un plus grand volume de sol qu'une plante non- mycorhizée (Trépanier, 1998).

## II.4 Caractéristiques morphologiques des mycorhizes arbusculaires

L'établissement de l'association mutualiste entre le champignon et les racines de la plante hôte se caractérise par une colonisation de l'écorce de la racine, sans aucun préjudice pour la plante, jusqu'à être, physiologiquement et morphologiquement, partie intégrante de cet organe (Guerrero, 1986 ; Priou, 2013). Les AMF (Arbuscular Mycorrhizal Fungi) infectent les plantes à partir de propagules, qui sont des spores d'origine asexuelle, des réseaux de mycélium, ou des fragments de racine présents dans le sol. Ces propagules sont capables d'initier la formation de nouvelles mycorhizes : le cycle de vie du champignon commence avec la germination des spores de résistance, lorsque les conditions de température et d'humidité le permettent, ou par le contact entre un fragment de racine colonisé et la racine-hôte. Suite à l'émission d'un tube de germination, le mycélium de champignon croît jusqu'à rencontrer une racine hôte, sur laquelle il forme une structure de précolonisation dite appressorium. Grâce à cette structure, le champignon pénètre l'épiderme et commence la colonisation du tissu parenchymateux de la racine, mais ne pénètre pas l'endoderme ni les tissus vasculaires et méristématiques. A l'intérieur du tissu parenchymateux se forment des structures typiques dénommées bobines issues de circonvolutions d'hyphes intracellulaires. Par la suite, les hyphes pénètrent dans les cellules plus internes du cortex de la racine et se ramifient de manière répétée pour donner des arbuscules, qui présentent une vie brève, de 7 à 10 jours. L'échange de nutriments a majoritairement lieu dans les cellules du parenchyme cortical. Les vésicules sont des organes de réserve surtout lipidique, apparaissant après les arbuscules. Elles sont de forme variée selon les espèces d'AMF, et sont généralement produites aux extrémités des hyphes mais aussi tout le long du parenchyme cortical colonisé. Certaines espèces du genre *Gigaspora* ou *Scutellospora* ne forment pas de vésicules à l'intérieur de la racine, mais dans le mycélium externe où elles forment des cellules auxiliaires (Balestrini & Lanfranco, 2006 ; Giovannetti, 2008 ; Parniske, 2008 ; Priou, 2013).

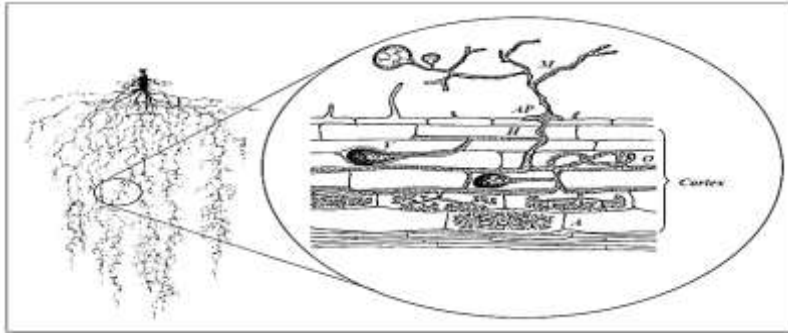


Figure 2 : Anatomie des MA. Abréviations: A : Arbuscule; AP: Appressorium; S: Spore; H : Hyphe intracellulaire ; M : Mycélium extra-racinaire ; B : Bobine ; V : Vésicule ( Palenzuela & Barea, 2002 ; Priou, 2013).

## II.5 La colonisation des racines par les champignons mycorhize arbusculaires

L'établissement de la symbiose entre la plante et le CMA (champignons mycorhizes arbusculaires) s'effectue *via* un échange de signaux moléculaires. La reconnaissance entre le champignon et la plante-hôte met en jeu les exsudats racinaires et fongiques (Figure 3.A) : les flavonoïdes et les strigolactones, substances chimiques émises par la plante-hôte, vont stimuler l'activité métabolique du champignon (Stevenin, 2011 ; Gavériaux, 2012 ; Rivaton, 2016). Elles vont induire chez le CMA l'expression du gène *Myc* puis de facteurs *Myc*. Ces facteurs *Myc* vont induire des déformations dans les cellules de l'hôte pour l'établissement de la symbiose, ainsi que la croissance des hyphes colonisant les racines (Stevenin, 2011 ; Rivaton, 2016). Une spore de champignon germe, le mycélium croît en direction de la racine, et lorsque le champignon perçoit la présence d'une plante hôte, il manifeste une réaction typique de ramification intense des hyphes appelée « branching » (Figure 3.B).

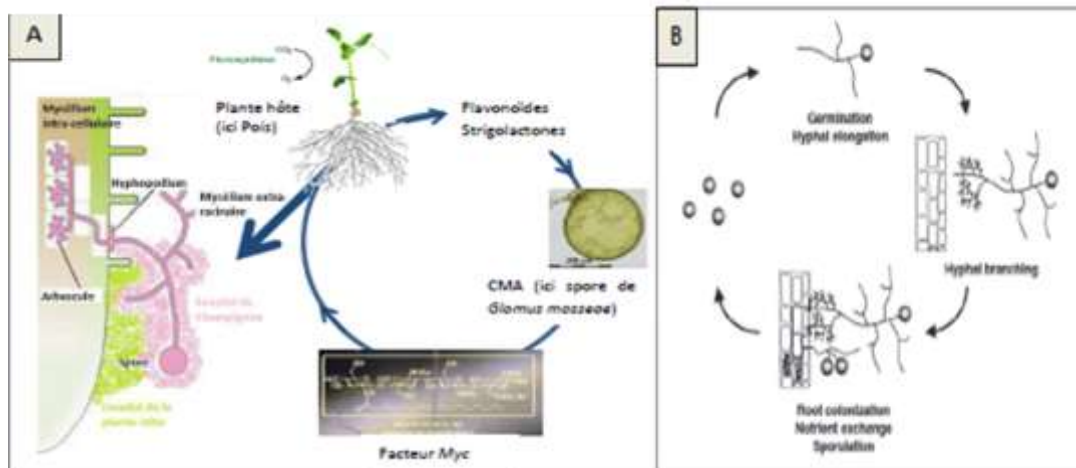


Figure 3 : Schématisation de l'établissement de la symbiose mycorhizienne (A) et du cycle de vie des CMA ((B), modifié d'après Akiyama, 2007; Rivaton, 2016).

Les hyphes adhèrent ensuite aux parois externes des cellules de la racine, formant un hypopodium, avant de les perforer en sécrétant des enzymes qui vont détruire la cellulose, les hémicelluloses et les pectines constituant ces dernières. Une fois à l'intérieur de la cellule, les hyphes se ramifient par dichotomie en donnant des hyphes ayant un diamètre de plus en plus petit ; à partir d'un hyphe initial de 10 $\mu$ m de diamètre, les dernières ramifications peuvent atteindre moins de 1 $\mu$ m de diamètre. L'ensemble de ces ramifications prend une forme de petit arbre : les arbuscules, lieux des échanges symbiotiques, qui donnent le nom à ces champignons (Gavériaux, 2012 ; Garbaye, 2013 ; Rivaton, 2016).

Les arbuscules sont des structures spécialisées dans le transfert de l'eau et des éléments nutritifs entre le champignon et la plante; pour le phosphore le transfert s'effectue sous forme d'ions orthophosphates via des transporteurs spécialisés insérés dans les membranes cellulaires à l'interface entre la plante et le champignon. Les sucres provenant de la plante sont conduits en sens opposé par des transporteurs d'hexoses qui sont d'autres canaux spécialisés (Karandashov et Bucher, 2005 ; Garbaye, 2013 ; Rivaton, 2016).

Après différenciation des structures intra-racinaires, le champignon produit des spores à partir de son mycélium extra-racinaire (Akiyama et *al.*, 2007 ; Rivaton, 2016). Tous ces mécanismes de communication moléculaires sont encore peu connus mais la recherche progresse régulièrement grâce notamment aux progrès de la génomique (Garbaye, 2013 ; Rivaton, 2016).

## II.6 Rôles des mycorhizes

### II.6.1 Mycorhization et amélioration de la nutrition minérale

Dans la plupart des cas, l'effet bénéfique des mycorhizes est dû à une amélioration de la nutrition minérale de la plante-hôte, surtout en ce qui concerne les éléments peu mobiles dans le sol tels que P (Phosphore), Zn (Zinc) et Cu (Cuivre) (Tinker, 1984 ; Nouaim et Chaussod, 1996). Il n'est pas exclu que la nutrition azotée puisse aussi être améliorée sous l'effet de la mycorhization (Nouaim et Chaussod, 1996).

L'efficacité de systèmes racinaires mycorhizés est due principalement à une extension de la surface d'absorption et du volume de sol prospecté grâce aux hyphes fongiques. Sylvia (1986) a mesuré une moyenne de 12 mètres d'hyphes de champignons endomycorhiziens par gramme de sol dans une dune subtropicale et estime que la longueur d'hyphes qui se développent autour de la racine peut atteindre 200 à 1000 mètres pour un centimètre de racine. Par ailleurs, dans son étude, Dodd (1994) rapporte que le mycélium extracellulaire de *Glomus geosporum* et *G. monosporum* peut s'étendre à une distance de 6 à 9 cm de la racine. L'efficacité des souches pourrait être au moins en partie fonction de leur capacité à former rapidement un réseau important d'hyphes extra-racinaires (Nouaim et Chaussod, 1996).

### II.6.2 Amélioration de la nutrition phosphatée

Dans toutes les comparaisons plante témoin/ plante mycorhizée, on observe que la quantité de phosphore prélevée est plus importante chez la plante mycorhizée (Mosse, 1973). De façon générale, les plantes mycorhizées accumulent plus de phosphore que les plantes non mycorhizées. Cette accumulation est due à une absorption par le champignon puisqu'elle disparaît par l'application d'un fongicide. Le phosphore est stocké dans les structures fongiques sous forme de polyphosphates, il est ensuite transféré à la plante au niveau de l'interface arbusculaire (Gianinazzi-Pearson et Gianinazzi, 1986 ; Nouaim et Chaussod, 1996).

### II.6.3 Amélioration de la nutrition en Oligo- éléments

Si l'amélioration de la nutrition minérale par la symbiose mycorhizienne a été surtout étudiée pour le phosphore, on sait qu'une nutrition équilibrée dépend aussi d'autres éléments tels que le soufre ou les oligo-éléments comme le cuivre, le zinc, le manganèse et le fer (Tinker, 1984 ; Kothari et al., 1990 ; Nouaim et Chaussod, 1996). Ces éléments sont peu mobiles dans le sol et on estime que le mécanisme d'absorption est le même que pour le phosphore, c'est-à-dire que

l'augmentation de leur prélèvement est essentiellement due à une meilleure exploration du sol par les hyphes extra-racinaires (Nouaim et Chaussod, 1996).

#### **II.6.4 Mycorhizes et le statut hydrique de la plante**

Les champignons endomycorhiziens entraînent une augmentation de la résistance de la plante au manque d'eau (Sylvia et al., 1993 ;Trépanier,1998). Le mycélium du champignon d'une plante mycorhizée explore un volume de sol beaucoup plus important qu'une plante normal. Les fines hyphes du champignon peuvent aller chercher l'eau à des endroits inaccessibles par les grosses racines de la plantes. Une expérience réalisée sur *Rosa hybrida* L.cv Samantha a montré que les champignons endomycorhiziens *Glomus intraradices* Schenk et Smith et *Glomus deserticola* Trappe, Bloss et Menge permettent un maintien de la turgescence au niveau du feuillage lors de déficits hydrique (Augé et al., 1986 . Trépanier, 1998).

Plusieurs expériences portant sur un large éventail de plantes vivrières ou fourragères, comme le maïs (Sylvia et al., 1993 ; Trépanier, 1998), le blé (Allen et Boosails, 1983 ;Trépanier, 1998),l'oignon (Nelsen et Safir, 1982 ;Trépanier, 1998),le poivron (Waterer et Colman, 1989 ;Trépanier, 1998), le soya ( Busse et Ellis, 1985 ; Trépanier, 1998)ou le trèfle ( Fitter, 1988 ; Trépanier,1998), démontrent que les plantes mycorhizées ont bien meilleurs résistance aux stress hydrique (Trépanier, 1998).

#### **II.6.5 Activité hormonale**

Les concentrations des phytohormones (cytokinines, gibberilines, éthylène, acide abscissique, auxine, acide jasmonique), dans la plante peuvent varier selon la présence ou non du champignon (Hause et al., 2006).

Chez les endomycorhizes à arbuscules, on constate que l'acide jasmonique ainsi que l'éthylène intervient dans le processus de colonisation et entraîne des modifications biochimiques dans toutes les parties de la plante. Ces modifications hormonales interviennent dans les mécanismes qui contrôlent le degré de colonisation de la plante maintenant ainsi un équilibre entre le champignon mycorhizien et la plante hôte (Fortin et al., 2008).

#### **II.6.6 Résistance aux maladies**

De nombreux chercheurs ont découverts que, parfois, la présence du champignon endomycorhizien procure une meilleure résistance envers les pathogènes racinaires. De part l'absorption accrue d'éléments minéraux, les racines mycorhizées peuvent aussi compenser les pertes de la racine causées par le pathogène (Linderman, 1994 ; Trépanier, 1998). La

rhizosphère subit aussi d'important changement, entraînant des modifications des populations bactériennes pouvant favoriser la plante (Meyer et Linderman, 1986 ; Trépanier, 1998) Par ailleurs, comme bien souvent le champignon mycorhizien et le pathogène occupent les mêmes sites dans la racine, une compétition s'établit entre eux, autant pour l'espace que pour la nourriture (Cordier *et al.*, 1996 ; Trépanier, 1998). Ces divers mécanismes peuvent donc entraîner une meilleure résistance envers les pathogènes.

Les champignons endomycorhiziens peuvent aussi jouer un rôle éliciteur important. Il faut en effet considérer que lors des premières phases de l'établissement de la symbiose, le champignon mycorhizien attaque la plante enzymatiquement afin de pénétrer jusqu'à travers la paroi primaire. Cette agression entraîne l'activation de divers mécanismes de défense chez la plante comme une augmentation de la phénylalanine ammonia-lyase (PAL) et de la chalcone isomérase (Volpi *et al.*, 1995 ; Trépanier, 1998), une accumulation de phytoalexines (Morandi, 1996 ; Trépanier, 1998), de chitinases (Dumas-Gaudot *et al.*, 1996 ; Trépanier, 1998),  $\beta$ -1,3-glucanases (Dumas-Gaudot *et al.*, 1996 ; Trépanier, 1998) et de peroxydases (Gianinazzi et Gianinazzi-Pearson, 1992 ; Azcon-Aguilar et Barea, 1997 ; Trépanier, 1998). Le fait d'être mycorhizée constituerait donc une sorte de vaccin qui sensibiliserait la plante (Benhamou *et al.*, 1994 ; Trépanier, 1998).

### III. Triticale et Féverole

#### III.1. Triticale (*Triticum secale*)

Le triticale est une plante annuelle de la famille des Poaceae (graminées). Le triticale est un cas bien connu d'hybridation interspécifique ( $x$ Triticosecale Wittmack). C'est l'une des premières espèces de culture créée par l'Homme, dérivant de l'hybridation intergénérique entre les espèces de blé (*T durum* ou *T aestivum* L.) et de seigle (*Secale cereale*). Le triticale réunit l'aptitude à la panification du blé et la rusticité du seigle ce qui représente un gain de biodiversité et un intérêt économique certain. Cette céréale constitue une source de nombreux gènes à forts potentiels (rendement élevé, résistance aux maladies, tolérance au froid et à la sécheresse avec un meilleur apport en acides aminés). Elle assure en outre un excellent rendement en paille.

##### III.1.1 Origine du triticale

La première synthèse remonte à 1891 puis les recherches (Stoskops 1985; Villareal et al., 1990, Bernard and Gupta 1990 ; Hammouda-Bousbia, 2013) qui ont été poursuivies dans des différents pays, ont visé à combiner judicieusement les chromosomes du blé (*Triticum sp.*) et du seigle (*Secale cereale* L.) et à rendre fertile la première descendance qui était stérile (Vermorel et Bernard, 1979).

En 1937, les chercheurs en France ont appliqué la colchicine pour doubler le nombre de chromosomes du triticale issu de l'hybridation blé tendre / seigle et obtenir le triticale  $8x$  ( $2n=8x=56$ , formule génomique AABBDDRR) pour rendre l'hybride plus fertile. Les travaux réalisés depuis 1950, ont abouti à la création du triticale hexaploïde ( $2n=6x=42$ , AABBRR) autogame.

En Algérie, le triticale hexaploïde secondaire, «variété Chrea» est une variété locale sélectionnée à partir du programme ITGC d'Elkhroub (Benbelkacem, communication personnelle).

##### III.1.2 Importance économique et intérêts agronomiques des Triticales

Le triticale réunit l'aptitude à la panification du blé et la rusticité du seigle (Goyali et al., 2002; Wos et al., 2002). Cette céréale constitue une source de nombreux gènes à forts potentiels (rendement élevé, résistance aux maladies, tolérance au froid et à la sécheresse avec un meilleur apport en acides aminés). Les résultats encourageants obtenus dans beaucoup de

pays développés tels que : la France, l'Allemagne, la Pologne, l'Australie, les Etats-Unis, Canada devraient nous inciter à l'étudier pour mieux la connaître et promouvoir son développement par l'augmentation des surfaces cultivables. Ainsi, le Triticale permettrait d'améliorer les régimes alimentaires de l'homme et de l'animal (Benbelkacem, 1994 ; 2006 ; Hammouda-Bousbia, 2013).

En effet, la graine de cette céréale renferme des protéines mieux équilibrées, riches en acides aminés rares tels que la lysine et la méthionine. La lysine est un acide aminé essentiel qui est plutôt mal représenté dans les protéines des autres céréales. La densité et la structure foliaire des triticales en font un fourrage de bonne qualité (Hulse, 1974 ; Hammouda-Bousbia, 2013).

Les triticales s'adaptent bien aux divers types de sol et aux différents milieux. Ils sont plus résistants au froid et aux conditions de semi-aridité et tolèrent mieux les excès d'eau (Hammouda-Bousbia, 2013).

Les Triticales produisent un rendement élevé, et possèdent une bonne amélioration et rendement de la paille (la paille de triticales a une efficacité en tant que litière qui peut être améliorée (les variétés de triticales peuvent produire jusqu'à 7-8 tonnes de matière sèche de paille à l'hectare (Tiers, 2002 ; Hammouda-Bousbia, 2013).

## **III.2 Féverole**

Connue sous le nom botanique de *Vicia faba* L., la fève appartient à la sous famille des *Papilionaceae*. La fève est une plante annuelle, d'environ 60 à 200 cm de hauteur. La tige est creuse et rigide. La feuille est composée et porte 2 à 6 folioles.

### **III.2.1 Origine de la Féverole**

Selon Duc (1997) l'origine de la fève est encore débattue, aucun géniteur sauvage de la fève n'a été trouvé et plusieurs différences existent entre *V. faba* et les autres espèces appartenant à *Narbonensis* (*V. narbonensis*, *V. galilea*, *V. johannis* et *V. hyaeniscyamus*) (Zohary et Hopf, 1973 ; Duc, 1997). Cubero (1974) rapporte que la culture de *Vicia faba* major a été développée dans les pays Sud de la Méditerranée et en Chine et a été étendue durant le 16ème siècle à travers le Mexique et l'Amérique du Sud. La culture de *Vicia faba equina* (ou *minor*) a été développée dans le Moyen Orient et l'Afrique du Nord avec une plus grande concentration en Egypte. *Vicia faba minor* se trouve en Ethiopie et a été beaucoup développée en Europe (Daoui, 2007).

### III.2.2 Importance économique et intérêts agronomiques de la Féverole

La fève (*Vicia faba*), dont la superficie est de l'ordre de 40% de la superficie totale des légumineuses alimentaires, est très appréciée par les agriculteurs. Elle est utilisée aussi bien pour l'alimentation humaine (utilisée dans différents plats culinaires depuis la formation des gousses jusqu'à la récolte du grain sec) que pour l'alimentation animale (selon les agriculteurs, le bétail engraisé à base de graine de fève produit une viande de bonne qualité) (Guirrou et *al.*, 1999 ; Daoui et *al.*, 1997). Des études concernant l'incorporation de la féverole ou de la fève dans l'alimentation du poulet de chair (Boubakraoui 1983 ; Malah, 1984) ont montré également la possibilité de la substitution des tourteaux de soja dans les régimes de croissance et de finition. Assez riches en protéine (22-36%) (Bond et *al.*, 1985), les graines de fève permettent un apport protéique important pour les humains et les animaux. Elle est aussi appréciée en tant que bon précédent cultural pour la céréaliculture, notamment, via les reliquats d'azote laissés (Rochester et *al.*, 2001; Diaz-Ambrona et InésMinguez, 2001; Eltun et *al.*, 2000; Schulz et *al.*, 1999), ou à travers l'amélioration de la structure du sol (Rochester et *al.*, 2001). Elle peut fixer entre 135 et 244 kg N/ha et contribuer jusqu'à 155 kg N/ha de reliquats (Rochester et *al.*, 2001). La fève améliore les prélèvements phosphatés chez le maïs qui lui est associé (Fusuo Zhang et Long Li, 2003) comme elle améliore, grâce à ses sécrétions racinaires, la disponibilité du Phosphore du sol pour le blé qui la succède (Nuruzzaman et *al.*, 2005 ; Daoui, 2007).

### III.3 Association culture Triticale/Fèverole

La féverole a pris la place du pois dans les mélanges céréaliers.(Betencourt, 2012) Grâce à son système racinaire plus profond et à sa croissance plus rapide, la céréale est plus compétitive que la légumineuse pour l'utilisation de l'azote minéral du sol, « forçant » la légumineuse à dépendre davantage de l'azote atmosphérique pour sa nutrition azotée au moyen de la fixation symbiotique. Cette complémentarité de niche entre les deux espèces associées pour l'utilisation de ces deux sources d'azote explique en grande partie les performances généralement supérieures observées pour les associations par rapport aux cultures mono spécifiques.

Les associations entre céréales et légumineuses, en générale, sont connues pour leurs capacités à favoriser les interactions entre les deux espèces, ceci ayant plusieurs conséquences positives (Bedoussac et *al.*, 2015) : diminution de la pression adventices due à une couverture du sol plus rapide et à une plus forte compétitivité du couvert, récolte facilitée par l'effet

« tuteur » de la céréale, productivité plus élevée à l’hectare par rapport aux cultures pures et sécurisation du revenu de l’agriculteur, la récolte de la céréale restant possible lorsque l’année est défavorable aux protéagineux (Ronceux et *al.*, 2016).

## I. Dispositif expérimental

Notre contribution à l'étude de l'effet des marges sur la communauté endomycorhizienne de deux espèces herbacées à intérêt fourragé est la continuité du travail de M<sup>elle</sup> Hachemi et M<sup>elle</sup> Berrfane (2016). Un essai en bloc aléatoire complet à trois facteurs : cultures (Triticale pur ; Fèverole pure ; Association Triticale/Fèverole), soumis à un épandage de margines (0m<sup>3</sup>/ha et 50m<sup>3</sup>/ha) et observé aux stades (45 et 70 jours) le premier stade correspond à la fin du gonflement : gonflement maximal de la gaine foliaire de la dernière feuille de la montaison (gonflement de l'épi ou de la panicule) et 70 jours correspond au stade de fructification et apparition et développement des graines) selon le protocole présenté dans la figure (tableau 1 ; Figure 4).

Tableau 1 : Dispositif expérimental (Hachemi et Berrfane ,2016).

|                        |                | 45 jours       |                |                |                | 70 jours       |                |                |                |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                        |                | 1              | 2              | 3              | 4              | 1              | 2              | 3              | 4              |
| D(0) : sans<br>margine | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> |
|                        | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> |
|                        | T/F            | T/F            | T/F            | T/F            | T/F            | T/F            | T/F            | T/F            | T/F            |
| D(1) : avec<br>margine | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> | T <sub>P</sub> |
|                        | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> | F <sub>P</sub> |
|                        | T/F            | T/F            | T/F            | T/F            | T/F            | T/F            | T/F            | T/F            | T/F            |



Figure 4 : Dispositif expérimental sous serre (Hachemi et Berrfane ,2016).

- **La margine**

Les échantillons de margines utilisés pour l'épandage ont été fournis par l'huilerie de Mr Sehmoun (système à 3 phases), Située à MEKLA (Hachemi et Berrfane ,2016).

- **Le sol**

L'échantillonnage du sol a été effectué durant les mois de mars à avril 2016 au niveau de la parcelle (p2) de l'ITMAS de BOUKHALFA. Les échantillons de sol ont été prélevés dans les 30 premiers cm de profondeur. Les sols prélevés ont été tamisés à travers un tamis à maille de 4 mm et bien mélangés afin de les homogénéiser (Hachemi et Berrfane ,2016).

Les sols ont été acheminés vers une serre, séparés en 2 lots :

-le premier est laissé tel quel, sans apports de margines (sol témoin: D0)

-le second reçoit 50 m<sup>3</sup>/ha de margine (D1).

Les 2 lots ont été arrosés et retournés pendant 60 jours, afin de permettre la décomposition des polyphénols toxiques.

500g de terre et de racine sont conservés dans un sachet étiqueté et maintenu au frais (à 4 °C) avant d'être analysé pour bloquer l'activité biologique (Hachemi et Berrfane, 2016). Les racines sont conservées dans un fixateur (FPA) pour des observations ultérieures.

- **Le matériel végétal**

Les graines de triticale (variété : CLERCAL) et de fêverole (variété locale : SIDI AICH) qu'on a utilisé font partie de la collection de l'ITGC (Figure 5).



Figure 5 : matériels végétal (A : triticale en monoculture ; B : fêverole en monoculture ; C: association triticale/fêverole) (Hachemi et Berrfane, 2016).

Pour réaliser l'approche « effet de la margine sur la communauté endomycorhizienne de ces deux espèces », nous avons réalisé des observations sur les racines conservées dans des piluliers au niveau du laboratoire de recherche de Production, Amélioration et Protection des

végétaux et des Denrées Stockées (PAPVDS). Les racines du triticale et de la fève cultivées seules et en association sont traitées selon le protocole de Phillips et Hayman (1970).

## II.1 Protocole de coloration et d'observation des racines

Afin d'observer et de quantifier les endomycorhizes des racines de triticale et de la fève au microscope, un échantillon de 30 cm de racines représentatif du contenu de chaque pot est soumis à la coloration.

Dans un premier temps, les racines sont colorées les champignons qui les colonisent et monter en plaque chaque échantillon. Cette méthode de coloration établie par Phillips et Hayman en 1970 puis modifiée par Vierheilig et *al*, en 1998 se réalise ainsi : Les racines les plus fines, sont placées dans des tubes à essai contenant une solution de KOH à 10%. Les tubes sont ensuite plongés dans un bain marie pendant 30 à 35 minutes. Cette étape a pour but de vider le contenu des cellules racinaires par osmose et une partie de la lignine. En effet, le déplacement d'eau de la solution la moins concentrée vers la plus concentrée, induit la translucidité des racines et le maintien des structures fongiques.

### ▪ La coloration

Les racines sont ensuite rincées à l'eau distillée blanchies et neutralisées dans de l'acide lactique à 10% avant d'être colorées dans une solution contenant du bleu de trypan à 0.05% pendant 15 minutes. Les racines sont rincées à l'eau distillée ensuite mises entre lame et lamelle pour observation.

## II.2 Observation, Estimation et quantification directe des structures endomycorhiziennes

Trente centimètres de racines est réparties sur trois lames à raison de 5 fragments racinaires de 2 cm par lame.

Les racines sont placées perpendiculairement à l'axe de la lame sans qu'il y ait chevauchement entre les racines dans une goutte de lactoglycérol. Les observations sont faites au microscope optique avec un grossissement de X 40 pour réaliser un comptage direct des structures fongiques (arbuscules, vésicules, pelotons hyphes et endophytes) et une estimation des fréquences et des intensités de mycorhization ont été estimées selon les formules suivantes (Figure 6) :

- ✓ La fréquence de mycorhization : reflète le degré d'infection du système racinaire

$$F\% = (N - n_0) / N$$

Avec N : nombre de fragment observé.

$n_0$  : nombre de fragment sans trace de mycorhization.

- ✓ Intensité de mycorhization (M%) qui exprime la portion du cortex colonisée par rapport à l'ensemble du système racinaire.

$$M\% = \frac{95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1}{N}$$

Avec :  $n_5, n_4, n_3, n_2$  et  $n_1$  sont les nombres de fragment respectivement notés dans les cinq classes d'infection marquant l'importance de la mycorhization à savoir : 5=plus de 95%, 4= de 50 à 95%, 3= 30 à 50%, 2= 1 à 30% et 1= 1% du cortex

- ✓ La teneur en arbuscules (a%) (Figure 8) :

$$a\% = \frac{100 m_{A3} + 50 m_{A2} + 10 m_{A1}}{100}$$

Avec  $m_{A3}, m_{A2}, m_{A1}$ , sont les pourcentages respectivement assigné aux notes A1, A2, A3.

Avec :  $m_{A3} = \frac{95n_5 A_3 + 70n_4 A_3 + 30n_3 A_3 + 5n_2 A_3 + n_1 A_3}{N}$

(Avec la même chose avec A1 et A2). Et  $n_5 A_3$  représente le nombre de fragment marqué 5 avec A3 ;  $n_4 A_3$  représente le nombre de fragment marqué 4 avec A3 ; etc.

A0 (absence d'arbuscules) ; A1 (peu d'arbuscules 10%) ; A2 (arbuscules fréquents 50%) ; A3 (arbuscules abondantes 100%).

- ✓ La teneur en arbuscules (A%) : du système racinaire qui reflète les potentialités d'échange symbiotique de l'association, son efficacité.

$$A\% = a M / 100$$

La quantification directe des vésicules, des arbuscules, des pelotons, hyphes et des endophytes a été réalisée par comptage direct sur les fragments racinaires dont l'estimation a été réalisée au préalable. Celle-ci consiste à compter sur une ligne directe sous microscope toutes les structures endomycorhiziennes qui existe dans le champ d'observation des racines/lame sont alors parcourues par trois lignes de comptage. Au total, trois comptages pour chaque lame, sont réalisés afin de minimiser la marge d'erreur.

Chaque observation consiste à quantifier:

- le nombre des vésicules par chaque morceau de racine.

- le nombre des arbuscules par chaque morceau de racine.
- le nombre des endophytes par chaque morceau de racine.
- le nombre des pelotons par chaque morceau de racine.

Une moyenne des chiffres obtenus est calculée par lame pour chaque structure.

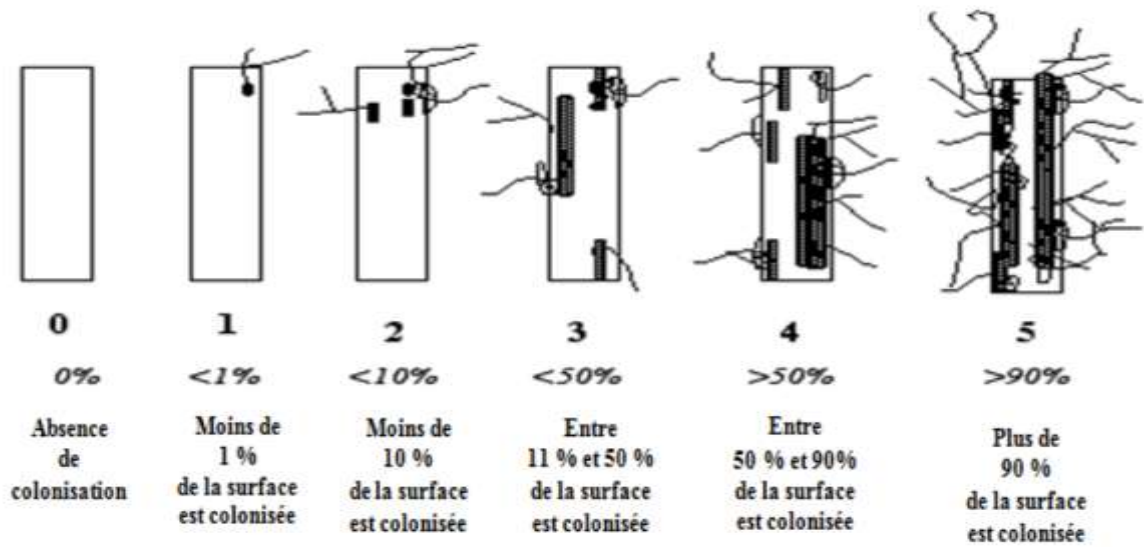


Figure 6 : Echelle d'intensité de colonisation du cortex racinaire.

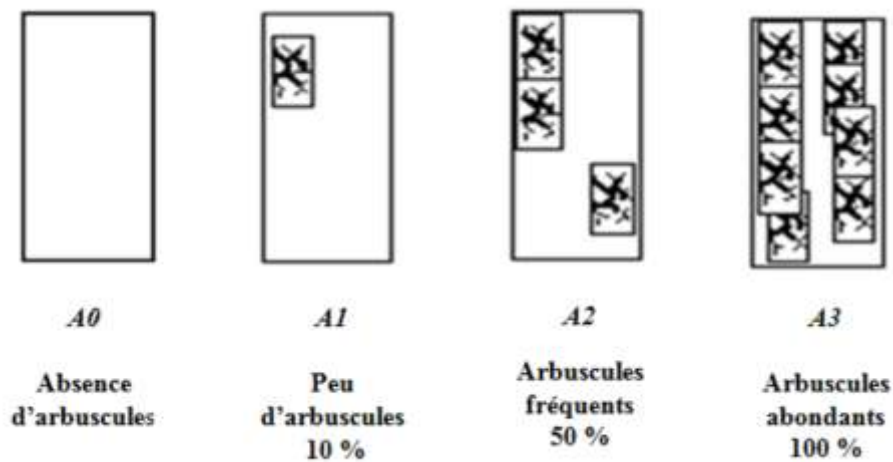


Figure 7 : Echelle d'évaluation de la présence des arbuscules

**III. Traitement et analyse des données**

Les résultats obtenus sont soumis à des statistiques descriptives et au test d'analyse de la variance (ANOVA). L'analyse statistique des données relatives aux divers variables a été réalisée par le logiciel Excel, stat-box et le logiciel R.

### I. Description des endomycorhizes

Les observations anatomiques des racines de triticale et de la fève avec et sans épandage de margine, nous a permis de révéler une colonisation endomycorhizienne relative importante. Des structures telles que les arbuscules, les vésicules et aussi les hyphes intra et extra matricielles mais aussi des endophytes ont été observées. Par ailleurs, l'absence des pelotons est à signaler (Figure 8 et 9).



Figure 8: Racine de Triticale observée sous microscope optique (G X400).

(A :Arbuscule),(B,C :Endophytes),(D :Vésicules),( E :Arbuscule), (F :Hyphes).

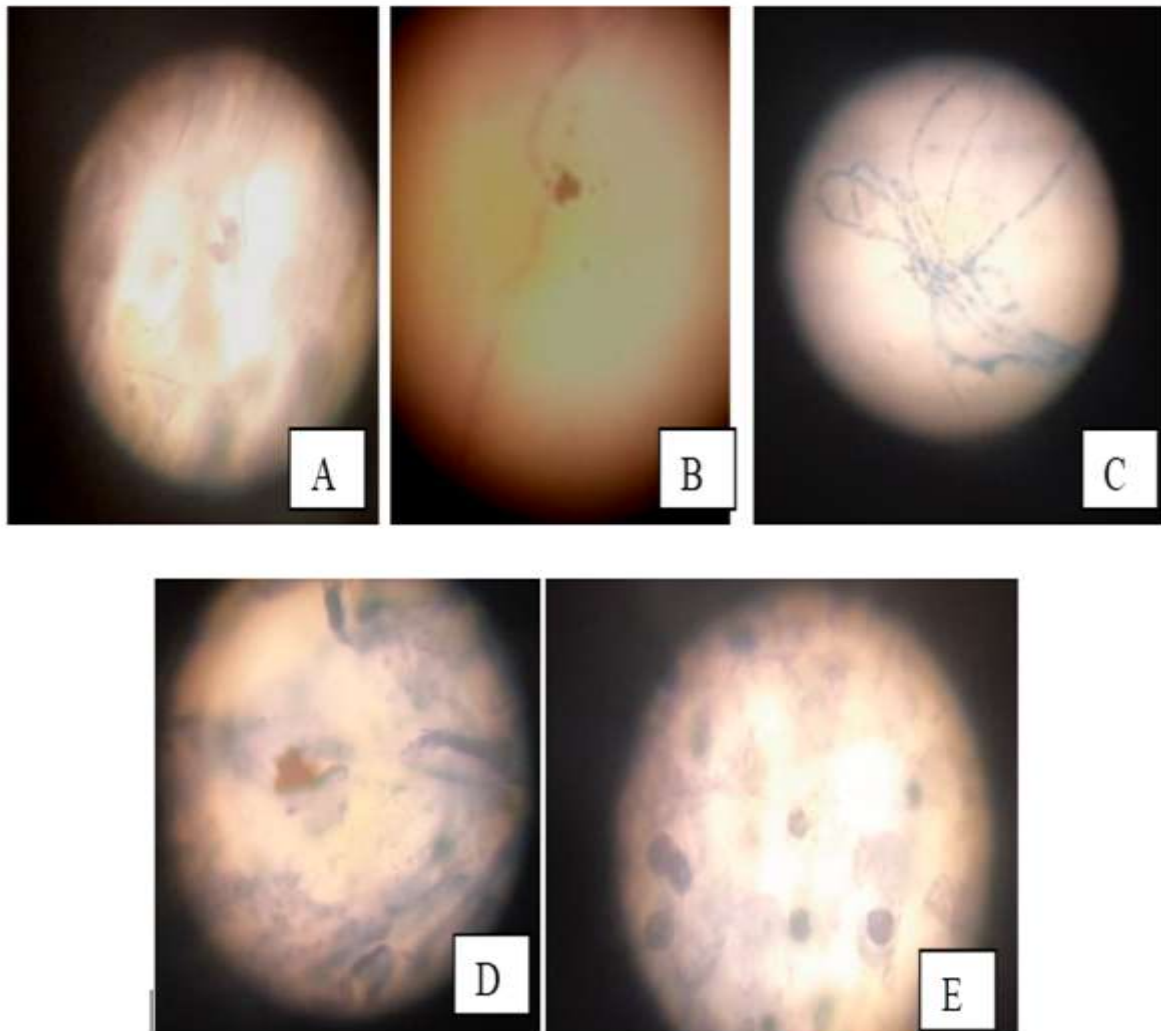


Figure 9: Racine de la Féverole observée sous microscope optique (G X400) (A : Arbuscule), (B : Hyphe avec arbuscule), (C : Hyphes), (D : Endophyte), (E : Vésicules).

### I.1 Au premier stade

Chez les racines de Triticale au premier stade, nous avons observé différentes structures endomycorhiziennes par comptage direct des arbuscules, des vésicules et des hyphes avec des valeurs respectives de  $99,11 \pm 29,88$  ;  $56,94 \pm 25,11$  et  $2,39 \pm 2,2$  chez les plants témoin (sans épandage). Cependant chez les plants soumis à l'épandage de margine, les effectifs ont enregistré une légère baisse avec des valeurs respectives de  $92,33 \pm 18,77$ ,  $31,77 \pm 20,55$ ,  $0,78 \pm 0,83$ . Des structures endophytiques ont également été observées dans les racines des deux traitements (sans margine :  $2,22 \pm 2,94$  et avec margine :  $1,89 \pm 1,54$ ).

Chez les racines de la Féverole on a observé les mêmes structures que celle décrites chez triticale. Les arbuscules ( $126,70 \pm 52,49$ ), les vésicules ( $97,04 \pm 71,76$ ), les hyphes ( $0,85 \pm 1,79$ ) et les endophytes ( $0,25 \pm 0,65$ ). Pour le cas de féverole avec margine, on n'a pas observées a cause de l'absence d'échantillons des racines.

Chez les racines des cultures associées au premier stade, nous avons observé aussi les mêmes structures endomycorhiziennes à savoir des arbuscules ( $99,16 \pm 34,33$ ), des vésicules ( $15,61 \pm 16,60$ ). La présence des endophytes avec  $1,17 \pm 1,54$  et des hyphes avec  $1,33 \pm 2,43$  chez les racines du triticale sans épandage de margine. Chez les racines de triticale traité avec la margine les arbuscules ont avec  $82,67 \pm 38,87$  et les vésicules avec  $9,53 \pm 6,61$  et les hyphes avec  $0,33 \pm 0,82$  et les endophytes sont avec  $1,67 \pm 1,79$ . Chez les racines de féverole sans margine on a observés des arbuscules avec  $71,05 \pm 57,54$  et des vésicules avec  $201,77 \pm 100,65$  et des endophytes avec  $0,11 \pm 0,32$ . Chez les racines traité par la margine les arbuscules sont observées avec  $16,28 \pm 10,62$  et les vésicules avec  $189,28 \pm 55,45$ . Les hyphes sont absents chez les racines de féverole avec et sans margine.

Djoudi et Sadali (2016) rapportent qu'au premier stade la présence plus fréquentes des vésicules dans les racines des cultures associées sans épandage comparativement aux autres structures pour les cultures seules de *Triticum secale* et *Pisum sativum* avec épandage ou sans épandages de margine. Or chez la féverole et triticale, les arbuscules sont plus importante que les vésicules sauf chez les racines de la féverole en cultures associées pour les deux traitements où les vésicules sont plus importantes que les arbuscules.

Chez les racines du triticale des deux traitements avec et sans épandage de margine les effectifs par comptage direct s'est révélé des arbuscules sont homogènes (avec un coefficient de variation de 0,30 pour les racines non traité par la margine et 0,20 pour les racines avec margine). Chez les racines sans margine, les populations des vésicules ont une faible hétérogénéité (un coefficient de variation de 0,44), par contre chez les racines traité par la margine les des populations des vésicules sont hétérogènes (le coefficient de variation est de 0,64). Une hétérogénéité des populations d'hyphes et d'endophytes observées chez les racines du triticale des deux traitements avec et sans margine (le coefficient de variation pour les racines sans margine est de 0,92 et 1,32 et de 1,07 et 1,19 pour les racines traité par la margine respectivement).

Les fréquences de mycorhization au premier stade, chez le triticale aux deux traitements est de 100%. Pour l'intensité de mycorhization, est de 42,99% pour les racines sans margine et de

35% pour les racines traité par la marge où on remarque une légère diminution. La teneur en arbuscules de la partie mycorhizée chez le triticale sans marge est 73.3% et avec marge est 79.18%.

L'analyse descriptive des résultats obtenus pour le comptage direct des structures chez les racines de la féverole sans marge, a permis d'enregistrer une faible hétérogénéité pour les effectifs des arbuscules (coefficient de variation de 0,41) contrairement aux structures des vésicules, hyphales et aux endophytes qui elles ont présentés une hétérogénéité avec des coefficients de variation supérieur à 73% supérieur à 35%.

La fréquence de mycorhization au premier stade de la féverole sans marge est de 100%. Pour l'intensité de mycorhization, est de 50.77% et la teneur en arbuscules de la partie mycorhizée est 85.06%.

Chez les cultures associées du premier stade, les racines du triticale sans marge, ont présenté des effectifs des arbuscules homogène avec des coefficients de variation inférieur à 35%. Cependant, le nombre populations des vésicules, hyphes et endophytes sont hétérogènes où le coefficient de variation est de 1,06 ; 1,82 et 1,32 respectivement. Chez les racines du triticale traité par la marge, la population des arbuscules a une faible hétérogénéité (avec un coefficient de variation 0,47), et les populations des vésicules, hyphes et des endophytes sont hétérogènes. Chez les racines de la féverole sans marge, les populations des arbuscules et des endophytes sont hétérogènes (0,80 et 2,91) supérieur à 35% et celle des vésicules ont une faible hétérogénéité avec un coefficient de variation de 0,49. Chez les racines de la féverole traité par la marge, les populations des arbuscules sont hétérogène (coefficient de variation de 0,65) par contre celle des vésicules sont homogène où le coefficient de variation est de 29% inférieur à 35%.

Les fréquences de mycorhization au premier stade, chez les deux espèces aux deux traitements est de 100%. Pour l'intensité de mycorhization, chez le triticale sans marge est de 52.66% et de 43.33% pour les racines traité par la marge où l'on remarque une légère diminution. La teneur en arbuscules de la partie mycorhizée chez le triticale sans marge est 86.85% et avec marge est 75.99%. Pour les racines de la féverole, l'intensité de mycorhization est de 45.99% pour les racines sans marge et de 59.33% pour les racines traité par la marge où on remarque une légère augmentation. La teneur en arbuscules de la partie mycorhizée de la féverole sans marge est 61.84% et pour les racines traité par la marge elle est de 39.66% où on remarque une diminution de cette teneur.

## I.2 Au deuxième stade

Les structures observées au deuxième stade ont été similaires à celle du premier stade avec des fréquences différentes. En effet, chez les racines de Triticale au deuxième stade (stade 70 jours) sans margine, nous avons observé des arbuscules, des vésicules et des hyphes avec des valeurs respectives de  $51,33 \pm 18,81$ ,  $85,06 \pm 23,57$  et  $(0,77 \pm 2,36)$ . Ainsi que des endophytes  $3,44 \pm 3,96$  chez les racines traitées avec la margine les arbuscules sont avec  $14,05 \pm 21,92$ , les vésicules avec  $62,11 \pm 17,15$ , les hyphes avec  $3,78 \pm 3,15$  et les endophytes avec  $5,78 \pm 5,14$ .

Chez les racines du Féverole au deuxième stade (stade 70 jours), on a observé aussi les mêmes structures chez les racines de la féverole avec margine (les vésicules avec  $113,94 \pm 43,46$ ), les arbuscules avec  $75,52 \pm 20,89$ , les endophytes avec  $1,82 \pm 2,09$  et les hyphes avec  $0,64 \pm 0,99$ ). Pour le cas de féverole sans margine on n'a pas observés à cause de l'absence d'échantillons des racines.

Chez les racines des cultures associées au deuxième (stade 70 jours), nous avons observé aussi les mêmes structures endomycorhiziennes. Chez les racines de triticale sans margines les arbuscules observées avec  $85,06 \pm 23,57$  ; les vésicules avec  $51,33 \pm 18,81$  ; les hyphes avec  $0,77 \pm 2,36$  et des endophytes avec  $3,44 \pm 3,96$ . Chez les racines soumis à l'épandage de margine, nous avons observées des arbuscules ( $83,33 \pm 31,35$ ), des vésicules ( $45,73 \pm 20$ ) et des endophytes ( $0,47 \pm 0,92$ ) mais les hyphes étaient totalement absentes.

Pour les racines de féverole sans margine, nous avons observées des arbuscules ( $84,83 \pm 31,76$ ), des vésicules ( $92,55 \pm 27,64$ ), des hyphes ( $1 \pm 1,32$ ) et des endophytes ( $2,83 \pm 3,57$ ).

Contrairement au premier stade, dans le deuxième stade, la colonisation en vésicules chez les racines de triticale et féverole est plus importante que celle des arbuscules sauf chez les racines de triticale des cultures associées. Cette dernière a présenté un nombre d'arbuscules plus important que les vésicules dans les deux traitements. Nos résultats rejoignent ceux de obtenus par Djoudi et Sadali (2016) pour la culture Triticale –pois fourrager au deuxième stade. La colonisation en vésicule observée était plus importante chez triticale avec épandage de margine.

Chez les racines du triticale sans margine, les effectifs des arbuscules et des vésicules ont présenté une faible hétérogénéité avec un coefficient de variation de  $0,39$  et  $0,46$ . Cependant, les hyphes et les endophytes avec un coefficient de variation est  $1,33$  et  $1,04$

respectivement sont hétérogènes(les). Chez les racines traité par la margine, les populations des arbuscules, des hyphes et des endophytes sont hétérogène (coefficient de variation de 1,60 ; 0,83 et 0,89 respectivement); par contre celle des vésicules sont des populations homogènes avec un coefficient de variation de 0,28 inférieur à 35%.

Chez la Féverole du deuxième stade Chez les racines traité par la margine, les populations des arbuscules sont homogènes (coefficient de variation de 27% inférieur à 35%), les vésicules ont une population a faible hétérogénéité avec un coefficient de variation de 0,38et les hyphes et les endophytes les populations sont hétérogènes avec un coefficient de variation de 1,53et 1,15 respectivement.

Chez les cultures associées du deuxième stade ; les populations des arbuscules chez les racines de triticales sans margine sont homogènes (coefficient de variation de 28% inférieur à 35%); les vésicules ont des populations a faible hétérogénéité (coefficient de variation de 0,36), les hyphes et les endophytes ont des populations hétérogènes où le coefficient de variation est de 3,04 pour les populations hyphales et de 1,15 pour les populations des endophytes. Chez les racines traité par la margine, les arbuscules et les vésicules ont des populations a faible hétérogénéité d'un coefficient de variation de 0,38 et 0,43 supérieur à 35% et les endophytes ont des populations hétérogènes (coefficient de variation de 1,96).Chez les racines de la féverole sans margine, les vésicules ont des populations homogènes où le coefficient de variation est de 0,29 ; les arbuscules ont des populations à faible hétérogénéité (coefficient de variation de 0,37) et les hyphes et les endophytes ont des populations hétérogènes (coefficient de variation de 1,32 et 1,26 respectivement).

Les fréquences de mycorhization au deuxième stade sont similaires à celle trouvées au premier stade où les fréquences est de 100% chez les deux espèces aux deux traitements. Chez le triticales l'intensité de mycorhization est de 46.29% pour les racines du témoin (sans épandage de margine) et de 41.66% pour les racines traité par la margine où on remarque une légère baisse. Pour les racines de triticales associées à la féverole l'intensité de mycorhization est de 39.99% pour les racines sans margine est de 49.66% pour les racines avec margine avec une augmentation pour les racines traité. Pour le cas de la féverole avec margine l'intensité de mycorhization est de 47.83% plus forte que chez les plants cultivés en association sans margine d'une valeur de 37.78%. La teneur en arbuscules des racines de triticales ont présenté une légère baisse entre les plants sans margine qu'avec traitement à la margine qui sont respectivement de 71.19% et de 42.18%.

La colonisation endomycorhizienne estimée par l'intensité des arbuscules chez la féverole a été sensiblement identique chez les plants associés témoins et ceux traités par la margine avec des valeurs respectives de 75.62% et de 70.21%. Or, une régression de la teneur en arbuscules des plants de féverole avec margine 87.70% comparativement aux plants élevés en association et sans margine chez qui nous avons enregistré un taux de 78.7% atteste de l'effet positif de la margine sur la teneur des racines de la féverole sur les partenaires endomycorhiziennes.

Les résultats des analyses des variances de la colonisation endomycorhizienne faite pour les variables d'estimation et de comptage direct de la colonisation endomycorhizienne entre les espèces Triticale et féverole (avec et sans margine), ont révélé des différences hautement significatives pour toutes les variables. Ces résultats permettent de d'attester que le facteur margine a un effet sur les variables colonisation endomycorhizienne des cultures. Selon Bollard, 1983, en générale, la mycorhization des espèces végétales est faible dans les sols riches en éléments nutritifs et à pH élevé. En effet, les résultats de l'analyse des sols obtenus par Hachemi et Berrefane (2016), la margine a induit une augmentation du pH du sol global, ainsi que son enrichissement en potassium assimilable ce qui explique probablement la diminution de la colonisation des plants avec margine.

## Discussion générale

---

L'étude de l'effet de la margine sur la symbiose endomycorhizienne des deux espèces (la féverole et le triticales) a permis de confirmer la présence de la symbiose endomycorhizienne chez le triticales et la féverole dans les deux traitements avec et sans margine. En effet, Miller et Jastrow (1992) attestent que les racines sont considérées endomycorhizées lorsqu'on note la présence des arbuscules et des vésicules condition « sine qua none » pour affirmer l'existence d'une association mycorhizienne à arbuscules (Bonfante-Fasolo, 1984).

L'observation des racines des deux espèces aux différentes stades et traitements a permis de révéler une colonisation endomycorhizienne et la présence de ces différentes structures, arbuscules, vésicules, hyphes et endophytes par contre l'absence des structures des pelotons.

Des fréquences de mycorhization chez les espèces étudiées pour les deux traitements on révélées des fréquences de 100%. Une légère baisse de l'intensité de mycorhization a été enregistré chez les racines de Triticales traitées avec la margine comparativement aux racines témoin pour les deux cultures (cultures pur et associées) pour les deux stades. Chez les racines de la féverole associées du premier stade, un effet de la margine est enregistré avec une augmentation sensible de l'intensité de mycorhization de 45,99% pour les plants sans margine à 59,33 avec margine. Des fréquences de mycorhization chez les espèces étudiées pour les deux traitements on révélées des fréquences de 100%. Une légère baisse de l'intensité de mycorhization a été enregistré chez les racines de Triticales traitées avec la margine comparativement aux racines témoin pour les deux cultures (cultures pur et associées) pour les deux stades. Chez les racines de la féverole associées du premier stade, un effet de la margine est enregistré avec une augmentation sensible de l'intensité de mycorhization entre les plants sans margine de 45,99% à 59,33 avec margine. Dans le cas des racines de la féverole associées au triticales dans le premier stade, la teneur en arbuscules était par contre plus importante de l'ordre de 61,84 chez les plants sans margine à 39,66 chez les racines traitées avec la margine. En effet, la richesse de sol en potassium peut expliquer cette diminution où l'endomycorhization est défavorisé pour les plants avec épandage de margine

L'analyse statistique des différentes variables chez les deux espèces étudiée aux deux traitements avec et sans margine a révéler une différence significative chez toutes les variables dont la margine a eu un effet sur le taux de la colonisation endomycorhizienne chez les deux espèces. En effet la mycorhization est faible dans les sols riches en éléments nutritifs (Bollard 1983).

## Discussion générale

---

Les arbuscules sont en effet le siège principal des échanges entre les deux partenaires (Genre et Bonfante, 1998 ; Fester et *al.*, 2001). De plus, le sol utilisé lors de l'expérimentation réalisée par et Hachemi et Berrefane (2016) est riche en potassium ; ce qui aurait défavorisé l'endomycorhization.

## Conclusion générale

---

L'objectif de notre travail est la mise en évidence de l'effet de la margine sur la symbiose endomycorhizienne chez les deux espèces à intérêt fourragé Triticale et Féverole.

L'étude de l'effet de la margine sur la symbiose endomycorhizienne des deux espèces (la féverole et le triticale) a permis de confirmer la présence de la symbiose endomycorhizienne chez le triticale et la féverole dans les deux traitements avec et sans margine par la présence des différentes structures : arbuscules, vésicules, hyphes et endophytes avec l'absence des structures des pelotons.

Notre étude a permis d'attester que l'usage de la margine en tant que biofertilisant à des dosages réglementaire avez effet négatif sur la communauté symbiotiques endomycorhizienne des deux espèces fourragères.

Il serait probablement judicieux de multiplier les expériences de l'effet de la margine sur la biodisponibilité des différents éléments minéraux du sol et des dosages règlementaire usagé afin de minimiser l'impact du biofertilisant margine sur la symbiose mycorhizienne des espèces et le maintien de la biodiversité du sol.

## Références Bibliographiques

---

- **Aissam H., J. Penninckx M., Benlemlih M. 2007.** Reduction of phenolics content and COD in olive oil mill wastewaters by indigenous yeasts and fungi. *World. J. MicrobiolBiotechnol* ,23, 1203-1208.
- **Al-Malah K., Azzam M.O.J., Abu-Lail N.I. 2000.** Olive mills effluent (OME) wastewater posttreatment using activated clay. *Separation and Purification Technology*, 20, 225-234.
- **Bedoussac L., Journet E.P., Hauggaard-Nielsen H., Naudin C., Corre-Hellou G., Jensen E. S., Prieur L., Justes E., 2015.** Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agron. Sustain. Dev.*
- **Bouajila K., Ellefi K., Taamallah H., 2015.** Valorisation des margines pour améliorer la qualité des sols dans les zones arides Tunisiennes. *Algerian Journal of AridEnvironment*, 5, 92-105.
- **Betencourt E., 2012.** Interaction entre céréales et légumineuses en association et acquisition de phosphore du sol : processus rhizosphérique sous jacent. Mémoire doctorat Montpellier Sup-Agro p2,54.
- **Bonfante-Fasolo P. 1984.** Anatomy and morphology of VA mycorrhize, In VA mycorrhizia, Pwell, CL et Bagayaraj, DJ, CRC Press, Boca Raton, 5-33.
- **Celine I., Justino L., Pereira R., Ana C. Freitas Teresa A. P. Rocha-Santos, Teresa S. L., 2012.** Panteleitchouk Armando C. Duarte, Olive oil mill wastewaters before and after treatment: a critical review from the ecotoxicological point of view. *Ecotoxicology*, 21, 615-629.
- **Djoudi C., Sadali S. 2016.** Effet de la margine sur la symbiose endomycorhizienne chez les deux culture *Triticum secale* et *Pisum sativum*. Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou. 32-34.
- **Dakhili R., Taamallah H., Lamouri R., Nagaz K. 2009.** Contribution à l'étude de l'effet des Margines sur la germination de l'orge (*Hordeumvulgare*). *Revue des Régions Arides*, 24, 650-655.
- **Daoui K. 2007.** Recherche de stratégies d'amélioration de l'efficience d'utilisation du phosphore chez la fève (*Vicia faba L.*) dans les conditions d'agriculture pluviale au Maroc. Thèse de doctorat. Université Catholique de Louvain. Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale. 10-21.

## Références Bibliographiques

---

- **Di Giovacchino L., Basti C., Costantitni N., Surricchio G., Ferrante M., Lombardi D. 2002.** Effets de l'épandage des eaux de végétation des olives sur des sols complantés de maïs et de vigne. Science et technique, *OLIVÆ*/N° 91,37-43.
- **Fezzani B., Ben Cheikh R. 2009.** Extention of the biodegradation odel N0.1 (ADM1) to include phenolic compounds biodegradation process for the simulation of anaerobic co-digestion of olive mill wastes at thermophilic temperature. *Journal of Hazardous Materials*, 162 1563-1570.
- **Fiestas Ros de Ursinos J.A. & Borja-Padilla R. 1996.** Biomethanization. *International biodereriorarion & Biodegradation*, 145-153.
- **Fortin J.A., Plenchette C., Piche Y. 2008.** Les Mycorhizes : La Nouvelle, Révolution Verte. Ed. Multimondes. Ed. Quae. 131p.
- **Garbaye, J. (2013).** La symbiose mycorhizienne : une association entre les plantes et les champignons. Editions Quae. 20-55.
- **Hachemi S & Berrefane O. 2016.** Effet de l'apport de margines sur le potassium de la rhizosphère et la croissance de la culture associée *Triticumsecale/Vicia faba*. Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou. 11-21.
- **Hammouda- Bousbia D. 2013.** Évolution et organisation du génome chez le triticales (x-*Triticosecale* Wittmack). Thèse de doctorat. Université de Constantine 1. Faculté des Sciences de la Nature. 3-12.
- **Hausse B., Fester T. 2005.** Molecular and cell biology of arbuscular, mycorrhizal symbiosis. *Planta*, 221, 184-196.
- **Jail A., Boukhoubza F., Nejmeddine A., Sayadi S., Hassani L, 2010.** Co-treatment of olive-mill and urban wastewaters by experimental stabilization ponds. *Journal of Hazardous Materials* 176, 893-900.
- **Lavaud O. 2019.** Les mycorhizes ont une importance capitale dans nos cultures.
- **Lerat S. 2003.** Etude des relations source-puits de carbone dans la symbiose endomycorhizienne à arbuscules. Thèse de doctorat. Université Laval. Faculté des Sciences et de Génie. 1-3.
- **Nikola P., 1988.** Ectendomycorhizes of conifers. *Silvia fennec*. 22,19-27.
- **Nouaim R., Chaussod R., 1996.** Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes, notamment des ligneux de zones arides. La mycorhization des

## Références Bibliographiques

---

plantes forestières en milieu aride et semi-aride et la lutte contre la désertification dans le bassin méditerranéen. *Zaragoza : CIHEM*, 20, 9-26.

- **Le Tacon F. 1985.** INRA Nancy- La Recherche n° 166 mai.
- **Obied H., Allen M., Bedgood D., Prenzler P., Robards K., Stockmann R, 2005.** Bioactivity and analysis of biophenols recovered from olive mill waste. *Journal of agrical Food Chemistry*, 53, 823-837.
- **Priou L. 2013.** Multiplication des mycorhizes arbusculaires en milieu liquide et solide afin d'améliorer la formulation de biofertilisants. *Agricultural sciences*.1-4.
- **Parinos C.S., Stalikas C.D., Giannopoulos Th. S., Pilidis G.A., 2007.** Chemical and physicochemical profile of wastewaters produced from the different stages of Spanish style green olives processing, *Journal of Hazardous Materials*, 145, 339-343.
- **Peterson R.L., Massicotte H. B., Melville L.H. 2004.** Mycorrhizas: anatomy and cell biology. CABI publishing. 182 p.
- **Peterson R.L. 2008.** Ultrastructural localization of heavy metals in the extrardical mycelium an spores of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Canadian journal of Microbiology*, 54 103-110.
- **Rivaton D. 2016.** Etudes des champignons mycorrhiziens arbusculaires des sols en systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage : application à la nutrition phosphatée. *Sciences du Vivant*. 1-3.
- **Ronceux A., Favreliere E., Pernel J., Raviart L.2016.** Associer céréales et protéagineux pour maîtriser les avantages annuels: Retours sur l'expérience de producteurs en agricultures biologique des hauts de France.
- **Sahraoui H., Jard A., Melloul H.J. 2012.** Epannage des marges sur les sols agricoles, impacts environnementaux microbiologiques. *Afrique science* ,08(1) 97- 106.
- **Smith S.E., Read D.J., 1997.** Mycorrhizal symbiosis. Academic Press. San Diego, USA.
- **Smith S.E., Read D.J., 2008.** Mycorrhizal symbiosis. 3rd Edition Academic Press. San Diego, USA.
- **Trépanier M. 1998.** Effets des champignons endomycorhiziens sur le bouturage et la croissance de plantes ligneuses ornementales. Thèse de l'obtention du grand maître en science. Université Laval. Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation 4-12.

## Références Bibliographiques

---

- **Yaakoubi A., Chahlaoui M., Rahmani M., Elyachioui et Y. Oulhote. 2009.** Effet de l'épandage des margines sur la microflore du sol. *Agrosolutions*, 20(1) 20 -43.
- **Zghari B., Benyoucef F., Boukir A. 2018.** Impact environnemental des margines sur les eaux d'Oued Oussefrou : caractérisation physico-chimique et évaluation par chromatographie gazeuse couplée a la spectrométrie de masse (CPG-SM) *Am. J. innov. res. appl. sci.*7(4) 276-291.

Annex 01 : Résultats des différents taux d'endomycorhization chez les deux espèces étudiées  
dans les deux traitements.

| Stades  | Traitements     | Plants | F%   | M%     | a%     | A%     |
|---------|-----------------|--------|------|--------|--------|--------|
| Stade 1 | Sans<br>margine | T0 S   | 100% | 42.99% | 73.3%  | 32.18% |
|         |                 | T0 F   | 100% | 52.66% | 86.85% | 46.16% |
|         | Avec<br>margine | T1 S   | 100% | 35%    | 79.18% | 27.71% |
|         |                 | T1 F   | 100% | 43.33% | 75.99% | 33.32% |
|         |                 |        |      |        |        |        |
| Stade 2 | Sans<br>margine | T0 S   | 100% | 46.29% | 71.19% | 32.42% |
|         |                 | T0 F   | 100% | 39.99% | 75.62% | 31.45% |
|         | Avec<br>margine | T1 S   | 100% | 41.66% | 42.18% | 17.24% |
|         |                 | T1 F   | 100% | 49.66% | 70.21% | 35.19% |
|         |                 |        |      |        |        |        |
| Stade 1 | Sans<br>margine | F0 S   | 100% | 50.77% | 85.06% | 43.22% |
|         |                 | F0 T   | 100% | 45.99% | 61.84% | 28.03% |
|         | Avec<br>margine | F1 T   | 100% | 59.33% | 39.66% | 23.53% |
| Stade 2 | Sans<br>margine | F0 T   | 100% | 37.78% | 78.7%  | 29.34% |
|         | Avec<br>margine | F1 S   | 100% | 47.83% | 87.70% | 42.39% |

Annex 02 : Statistiques descriptives des variables de colonisations endomycorhiziennes  
mesurées du la Féverole.

| Stades  | Traitement   | Plants |    | Variables  |           |        |            |
|---------|--------------|--------|----|------------|-----------|--------|------------|
|         |              |        |    | Arbuscules | Vésicules | Hyphes | Endophytes |
| Stade 1 | Sans margine | F0 S   | M  | 126,70     | 97,04     | 0,85   | 0,25       |
|         |              |        | ET | 52,49      | 71,76     | 1,79   | 0,65       |
|         |              |        | CV | 0,41       | 0,73      | 2,10   | 2,52       |
|         |              |        | CA | 2,50       | 1,62      | 7,19   | 12,45      |
|         |              |        | CD | 0,54       | 0,13      | 2,27   | 0,03       |
|         |              | F0 (T) | M  | 71,05      | 201,77    | 0      | 0,11       |
|         |              |        | ET | 57,54      | 100,65    | 0      | 0,32       |
|         |              |        | CV | 0,80       | 0,49      | 0      | 2,91       |
|         |              |        | CA | 1,82       | 1,66      | 0      | 7,12       |
|         |              |        | CD | 0,55       | 0,33      | 0      | 2,47       |
|         | Avec margine | F1 (T) | M  | 16,28      | 189,28    | 0      | 0          |
|         |              |        | ET | 10,62      | 55,45     | 0      | 0          |
|         |              |        | CV | 0,65       | 0,29      | 0      | 0          |
|         |              |        | CA | 2,86       | 2,24      | 0      | 0          |
|         |              |        | CD | 0,73       | -0,06     | 0      | 0          |
| Stade 2 | Sans margine | F0 (T) | M  | 84,83      | 92,55     | 1      | 2,83       |
|         |              |        | ET | 31,76      | 27,64     | 1,32   | 3,57       |
|         |              |        | CV | 0,37       | 0,29      | 1,32   | 1,26       |
|         |              |        | CA | 1,83       | 4,90      | 5,64   | 3,53       |
|         |              |        | CD | -0,13      | 1,18      | 1,70   | 1,28       |
|         | Avec margine | F1 S   | M  | 75,52      | 113,94    | 0,64   | 1,82       |
|         |              |        | ET | 20,89      | 43,46     | 0,99   | 2,09       |
|         |              |        | CV | 0,27       | 0,38      | 1,53   | 1,15       |
|         |              |        | CA | 3,54       | 2,91      | 2,87   | 3,39       |
|         |              |        | CD | 0,80       | -0,03     | 1,44   | 1,16       |

Annex 03 : Statistiques descriptives des variables de colonisation endomycorhiziennes  
mesurées du Triticale.

| Stades  | Traitement   | Plants |      | Variables  |           |        |            |
|---------|--------------|--------|------|------------|-----------|--------|------------|
|         |              |        |      | Arbuscules | Vésicules | Hyphes | Endophytes |
| Stade 1 | Sans margine | T0S    | M    | 99,11      | 56,94     | 2,39   | 2,22       |
|         |              |        | ET   | 29,88      | 25,17     | 2,2    | 2,94       |
|         |              |        | CV   | 0,30       | 0,44      | 0,92   | 1,32       |
|         |              |        | CA   | 3,32       | 2,53      | 2,92   | 3,86       |
|         |              |        | CD   | -0,64      | 0,85      | 0,87   | 1,34       |
|         |              | T0(F)  | M    | 99,16      | 15,61     | 1,33   | 1,17       |
|         |              |        | ET   | 34,33      | 16,60     | 2,43   | 1,54       |
|         |              |        | CV   | 0,35       | 1,06      | 1,82   | 1,32       |
|         |              |        | CA   | 0,86       | 2,82      | 6,68   | 3,39       |
|         |              |        | CD   | -0,96      | 1,01      | 2,09   | 1,19       |
|         | Avec margine | T1S    | M    | 92,33      | 31,77     | 0,78   | 1,89       |
|         |              |        | ET   | 18,77      | 20,55     | 0,83   | 2,26       |
|         |              |        | CV   | 0,20       | 0,64      | 1,07   | 1,19       |
|         |              |        | CA   | 2,69       | 1,63      | 1,73   | 3,90       |
|         |              |        | CD   | 0,07       | -0,06     | 0,41   | 1,31       |
|         |              | T1(F)  | M    | 82,67      | 9,53      | 0,33   | 1,67       |
|         |              |        | ET   | 38,87      | 6,61      | 0,82   | 1,79       |
|         |              |        | CV   | 0,47       | 0,69      | 2,44   | 1,07       |
|         |              | CA     | 0,89 | 4,22       | 8,80      | 3,17   |            |
|         |              | CD     | 1,01 | 1,18       | 2,59      | 0,89   |            |

Suite de l'Annex 3 : Statistiques descriptives des variables de colonisation  
endomycorhiziennes mesurées du Triticale.

|         |              |       |    |       |       |       |      |
|---------|--------------|-------|----|-------|-------|-------|------|
| Stade 2 | Sans margine | T0S   | M  | 48,94 | 55,56 | 6,22  | 3,5  |
|         |              |       | ET | 19    | 25,45 | 8,29  | 3,65 |
|         |              |       | CV | 0,39  | 0,46  | 1,33  | 1,04 |
|         |              |       | CA | 0,86  | 3,50  | 4,42  | 2,51 |
|         |              |       | CD | -0,09 | 0,96  | 1,59  | 0,82 |
|         |              | T0(F) | M  | 85,06 | 51,33 | 0,77  | 3,44 |
|         |              |       | ET | 23,57 | 18,81 | 2,36  | 3,96 |
|         |              |       | CV | 0,28  | 0,36  | 3,04  | 1,15 |
|         |              |       | CA | 0,86  | 0,86  | 14,40 | 6,88 |
|         |              |       | CD | -0,89 | 0,51  | 3,56  | 2,06 |
|         | Avec margine | T1S   | M  | 14,05 | 62,11 | 3,78  | 5,78 |
|         |              |       | ET | 21,92 | 17,15 | 3,15  | 5,14 |
|         |              |       | CV | 1,60  | 0,28  | 0,83  | 0,89 |
|         |              |       | CA | 7,42  | 2,68  | 2,15  | 2,52 |
|         |              |       | CD | 2,26  | 0,36  | 0,47  | 0,78 |
|         |              | T1(F) | M  | 83,33 | 45,73 | 0     | 0,47 |
|         |              |       | ET | 31,35 | 20    | 0     | 0,92 |
|         |              |       | CV | 0,38  | 0,43  | 0     | 1,96 |
|         |              |       | CA | 2,66  | 1,89  | 0     | 5,16 |
|         |              |       | CD | 0,83  | -0,19 | 0     | 1,84 |

Annex 04 : Résultats de test du Tukey chez le Triticale.

| Variables  | Plants     | Groupes homogènes |   |   |    |    |  |
|------------|------------|-------------------|---|---|----|----|--|
| Arbuscules | T0F1       |                   |   | c |    |    |  |
|            | T0F S1     |                   |   | c |    |    |  |
|            | T0S1       |                   |   | c |    |    |  |
|            | T0S2       |                   | b |   |    |    |  |
|            | T1F S2     |                   |   | c |    |    |  |
|            | T1S1       |                   |   | c |    |    |  |
|            | T1S2       | a                 |   |   |    |    |  |
|            | T1T1       |                   |   | c |    |    |  |
|            | Endophytes | T0F1              |   |   |    | ab |  |
|            |            | T0F S1            |   |   |    | ab |  |
| T0S1       |            |                   |   |   | ab |    |  |
| T0S2       |            |                   | b |   |    |    |  |
| T1F S2     |            | a                 |   |   |    |    |  |
| T1S1       |            |                   |   |   | ab |    |  |
| T1S2       |            |                   |   | c |    |    |  |
| T1T1       |            |                   |   |   | ab |    |  |
| Hyphes     | T0F1       |                   |   |   | ab |    |  |
|            | T0F S1     | a                 |   |   |    |    |  |
|            | T0S1       |                   |   |   | ab |    |  |
|            | T0S2       |                   |   | c |    |    |  |
|            | T1F S2     | a                 |   |   |    |    |  |
|            | T1S1       |                   |   |   | ab |    |  |
|            | T1S2       |                   |   |   |    | bc |  |
|            | T1T1       | a                 |   |   |    |    |  |
| Vésicules  | T0F1       | a                 |   |   |    |    |  |
|            | T0F S1     |                   | b |   |    |    |  |
|            | T0S1       |                   | b |   |    |    |  |
|            | T0S2       |                   | b |   |    |    |  |
|            | T1F S2     |                   | b |   |    |    |  |
|            | T1S1       |                   | b |   |    |    |  |
|            | T1S2       |                   | b |   |    |    |  |
|            | T1T1       |                   | b |   |    |    |  |

Annex 05 : Résultats de test du Tukey chez la Féverole.

| Variables  | Plants | Groupes homogènes |   |   |    |    |
|------------|--------|-------------------|---|---|----|----|
| Arbuscules | F0 S1  |                   |   | c |    |    |
|            | F0T S2 |                   | b |   |    |    |
|            | F0T S1 |                   | b |   |    |    |
|            | F1 S2  |                   | b |   |    |    |
|            | F1TS2  | a                 |   |   |    |    |
| Endophytes | F0 S1  |                   | b |   |    |    |
|            | F0T S2 |                   |   | c |    |    |
|            | F0T S1 |                   | b |   |    |    |
|            | F1 S2  |                   |   |   |    | ac |
|            | F1TS2  |                   |   |   | ab |    |
| Hyphes     | F0 S1  | a                 |   |   |    |    |
|            | F0T S2 | a                 |   |   |    |    |
|            | F0T S1 | a                 |   |   |    |    |
|            | F1 S2  | a                 |   |   |    |    |
|            | F1TS2  | a                 |   |   |    |    |
| Vésicules  | F0 S1  | a                 |   |   |    |    |
|            | F0T S2 | a                 |   |   |    |    |
|            | F0T S1 |                   | b |   |    |    |
|            | F1 S2  | a                 |   |   |    |    |
|            | F1TS2  |                   | b |   |    |    |