

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques

Mémoire

De projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Production Végétale et Agriculture Durable

Thème

**Etude de la réponse de deux variétés de blé dur
(*Triticum turgidum*) soumises à un stress salin en présence
d'un inoculum mycorhizien**

Présenté par : Mr ZOULIM Shams-Eddine Mouloud

Soutenu le 20/07/2017 devant le jury :

Présidente : M^{me} BOURBIA S.

Encadreure : M^{me} TAIBI HADJ YUCEF H MAA

Co-Encadreure : M^{me} HOUCHI Aid A MCB

Examinatrice: M^{lle} BOUTEBTOUB Wahiba MCB

Année universitaire 2016/2017

Remerciements

Nous tenons d'abord à remercier vivement Mme HOUCHI Aini et Mme TAIBI EL HADJ YUCEF Hassiba, nos encadreuses, qui nous ont suivi tout au long de la réalisation de ce mémoire, corrigé et orienté, et qui nous ont fourni des documents précieux pour nous permettre d'avancer dans notre travail.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à ma chère famille ;

Mon père, ma mère

Ma sœur aînée et mon frère

Ainsi que mes chers neveux,

Qui m'ont soutenu durant toute la période de sa réalisation

Introduction

Le blé dur est une source alimentaire inestimable pour l'être humain. Il a contribué durant des siècles à son alimentation. Il est utilisé dans la production de plusieurs produits de large consommation comme le pain, le couscous et les pâtes alimentaires. La production nationale de céréales a baissé jusqu'à 3,3 millions de tonnes (blé, maïs et orge) pendant la période 2015-2016 contre 4 millions de tonnes l'année précédente (Jeune Afrique, 2016). En ce qui concerne le blé dur sa production tend à baisser avec des variabilités selon les années ce qui engendre une augmentation des importations pour satisfaire la consommation nationale. Celles-ci ont connu une légère hausse en 2016 atteignant 12,35 millions de tonnes contre 12,34 millions de tonnes en 2015 (Centre National de l'Information et des Statistiques (CNIS)).

En Algérie, les rendements souvent faibles sont dus à l'irrégularité des pluies, à l'absence d'une stratégie de fertilisation et de création de variétés améliorées. A ces contraintes, s'ajoute la salinité avec pour cause la remontée de sel des nappes phréatiques dans les régions arides et semi-arides, ou une irrigation inappropriée. La conséquence étant l'accumulation progressive de sels dissous dans le sol. L'excès de sel induit interfère avec le métabolisme d'absorption de la plante ce qui n'est pas sans incidence sur sa croissance et son développement. Dans le but de pallier à ce problème de salinité, de nombreuses recherches sont effectuées dans le cadre de l'amélioration génétique afin d'obtenir des variétés résistantes et plus tolérantes à ce fléau ; toutefois, ce travail est laborieux et le temps requis est long car plusieurs générations de culture sont nécessaires.

Dans la nature, les racines des plantes peuvent s'associer avec d'autres organismes et notamment avec des champignons en constituant des symbioses qui prennent le nom de mycorhizes. Celles-ci sont bénéfiques pour les plantes (et pour les champignons). Elles leur assurent une meilleure alimentation hydrominérale et une protection contre les pathogènes ce qui remplacerait les intrants chimiques. Une tolérance vis-à-vis de la salinité serait également meilleure.

Vu les bienfaits de la mycorhization sur les plantes, nous avons entrepris un essai d'inoculations mycorhiziennes sur deux variétés de blé dur soumises à un stress

salin. Le but étant d'évaluer à la fois l'effet de la salinité sur la morphologie des racines mycorhizées et non mycorhizées et l'effet de la mycorhization sur la salinité.

Nous abordons dans le premier chapitre la relation entre les trois composantes principales de notre thème à savoir le blé dur, le stress salin et ses conséquences sur les plantes et sur les champignons mycorhiziens ainsi que les mycorhizes et leur influence sur les plantes stressées.

Dans le second chapitre Matériel et Méthodes, nous avons réalisé une étude comparative entre les plants mycorhizés en présence et en absence de salinité.

Dans le troisième chapitre : résultats et discussion, nous avons lu et interprété nos résultats en comparaison avec des travaux qui ont été réalisés dans le même cadre d'étude.

Nous terminons par une conclusion et perspectives.

Chapitre I : Le Blé Dur, Le Stress Salin et La Mycorhization

I.1.1. Le blé dur dans le monde et en Algérie

Le **blé** est une plante herbacée annuelle appartenant à la famille des **Graminées**, à la sous famille des Poacées, au genre *Triticum* (*Triticum durum* pour le blé dur(nom de l'espèce)) .Le blé est une espèce hexaploïde portant le génome **AABBDD** ($2n=6x=28$).

La description de la plante :

Un pied de blé comprend un système **racinaire fasciculé**(les racines ont toutes la même taille et s'étalent à l'horizontale), plusieurs tiges et des feuilles allongées.

Une tige de blé est cylindrique et creuse : c'est un **chaume** .Au niveau des nœuds, la tige est plane et renflée.



Blé : dessin présentant les différentes parties du blé

Blé, céréale de la famille des graminées.

Dessin Dominique Roussel - Archives Larousse

Les feuilles s'attachent une par une à chaque nœud de la tige .Chaque feuille enveloppe d'abord le chaume en formant une gaine autour de lui, puis s'en écarte c'est alors le limbe, qui est sillonné par des nervures parallèles.

Les fleurs de blé sont groupées en formant des **épis**. Un épi de blé contient de nombreux **épillets**.

Un **épillet** est un petit groupe de fleur allant de trois à cinq.

Une fleur de blé n'a pas de pétales ni de sépales, elle possède **trois étamines en forme de x, un pistil surmonté de deux plumets**.

Quand les épillets s'entrouvrent, les sacs de pollen des étamines pendent le long des épis : c'est alors la floraison.

Le **fruit du blé** est un **caryopse** : fruit appartenant à la classe des fruits simples, indéhiscents et secs.

Le **caryopse** est un fruit à graine unique, dont le péricarpe est étroitement uni au tégument de la graine qu'il entoure.

Le cycle de développement du blé dur :

Il comprend cinq étapes principales :

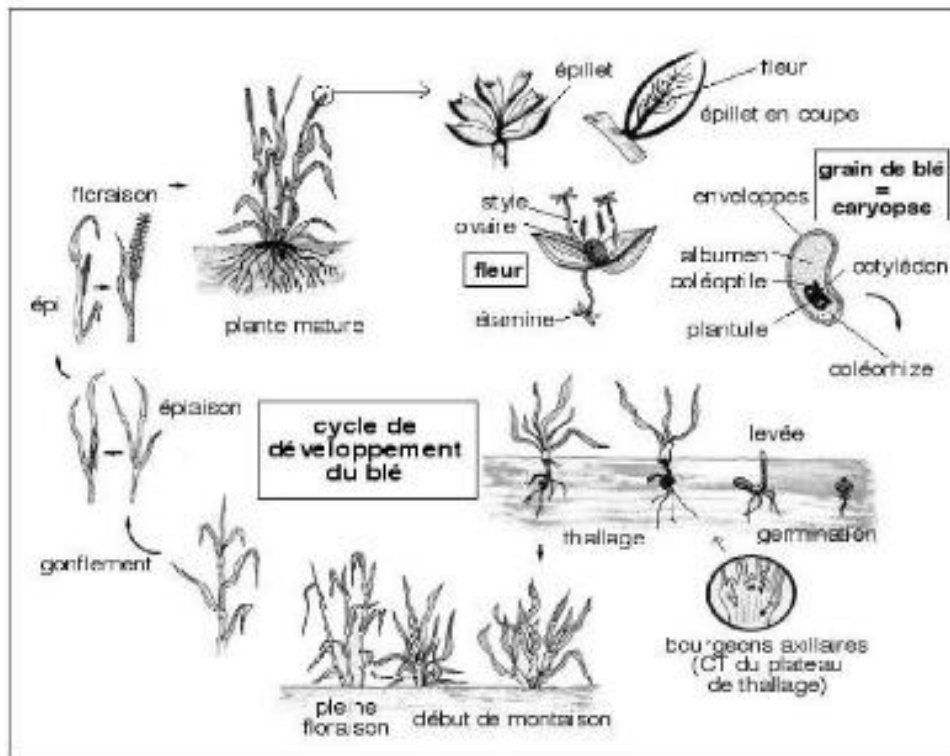


Figure 1. Cycle de développement du blé (HENRY et DE BUYSER, 2000)

1-la levée : du semis à 3 feuilles

Pour germer le caryopse à besoin d'eau, d'air, d'obscurité et de chaleur. Le blé et les autres Graminées ont une germination hypogée (le cotylédon n'est pas soulevé hors de la terre). Il utilise les réserves glucidiques contenues le caryopse pour faire pousser les racines, la tige et les feuilles.

Ce stade est caractérisé par l'apparition de la partie aérienne hors du sol.

2-le tallage : de 3 feuilles à épi à 1 cm

Le blé émet des tiges latérales, appelées talles, qui sont des épis potentielles. Le nombre de racines augmente et leur longueur aussi qui peuvent atteindre jusqu'à 1m.

3-montaison : apparition des premières barbes

Il y a allongement des tiges et des feuilles , et les besoins en eau et en éléments minéraux augmentent, alors une compétition s'instaure entre les tiges du même pied ce qui conduit à l' affaiblissement et à la mort de certaines d'entre elles.

4-épiaison et fécondation : début de floraison

Il y a production des grains de pollen et d'ovules, qui en s'unissant donnent naissance au caryopse, à ce niveau le blé a besoin d'un apport important d'eau et d'azote pour le remplissage des épis.

5-remplissage :

A ce niveau il ya une accumulation de réserves glucidiques et protéiques dans le grain de blé.

Le blé est cultivé sur une aire géographique très étendue (Moyen Orient, Extrême Orient, Afrique septentrionale, Etats Unis, Canada, Europe et Australie).

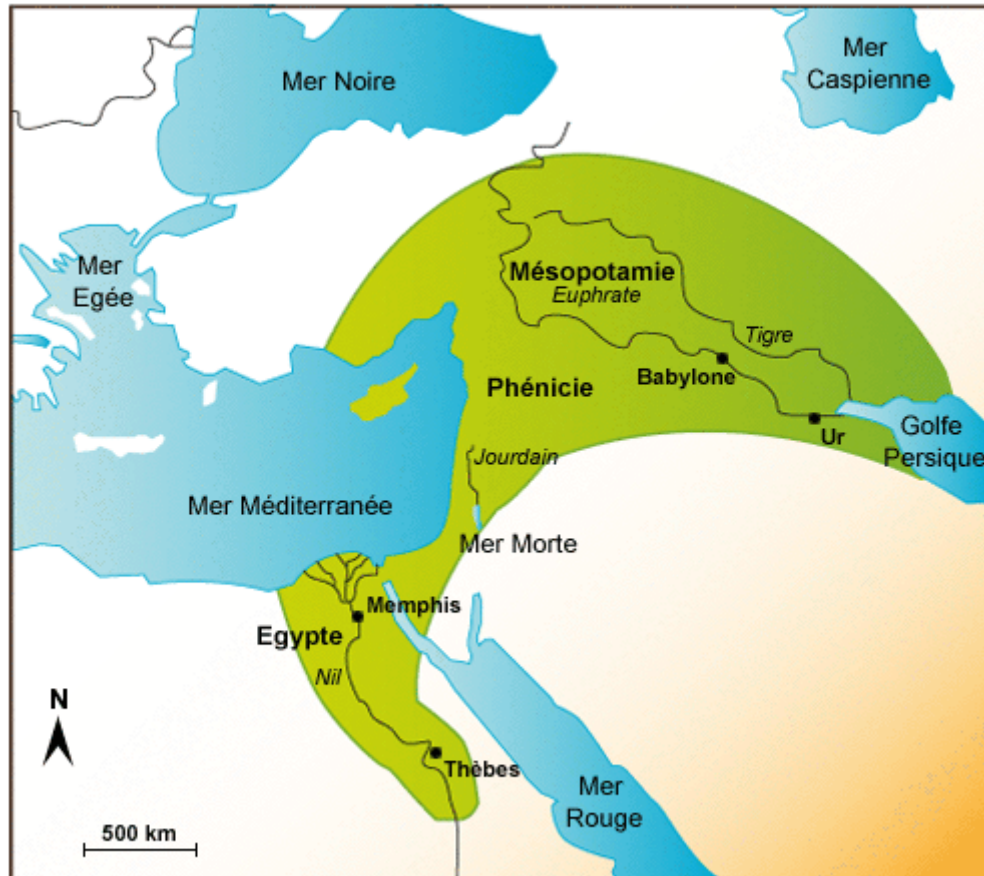


Figure1 : Carte du Croissant fertile, région du Moyen-Orient incluant l'Égypte antique, le Levant et la Mésopotamie où a débuté la civilisation.(James Henry Breasted, 1916)

Les régions de culture de blé dur sont généralement des zones semi-arides (taux de pluviométrie < 500 mm/an) et arides (<150mm/an) où se rencontrent des problèmes de salinité.

En Algérie il existe quatre zones agro-écologiques où le blé est cultivé :

-Les plaines littorales et sublittorales avec un climat sub-humide tempéré par les influences maritimes, ainsi que le nord des hauts plateaux, constituent une zone à hautes potentialités

-Le sud des hauts plateaux marqué par l'altitude, la continentalité et la faiblesse de la pluviométrie.

-La zone steppique ou la culture des céréales est pratiquée de manière irrégulière, par des systèmes de production dominés par la culture de l'orge et de l'élevage ovin.

-Les zones du sud où se pratique la céréaliculture sous irrigation, dans les oasis en culture sous-étages, ou bien en céréaliculture intensive sous pivots (Anonyme, 2000).

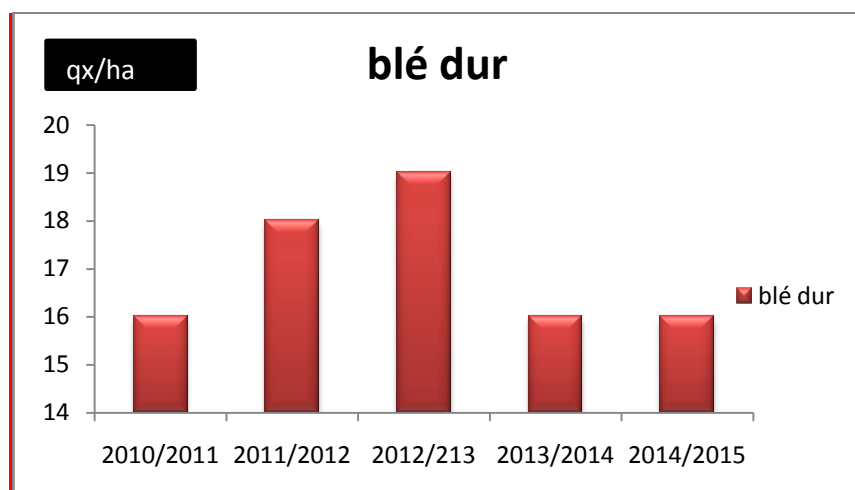
I.1.2. Production de blé dur en Algérie

La production de blé dur en Algérie est caractérisée par des fluctuations très instables. Elle varie d'une période à une autre selon les changements climatiques :

Pluviométrie, température et d'autres contraintes (techniques, foncières et économiques).

La production céréalière s'est établie à 37,5 millions de quintaux (q) pour la campagne 2014-2015, en hausse de 10% par rapport à la campagne 2013/2014, selon le ministère de l'Agriculture, du développement rural et de la pêche. Durant cette campagne, les régions de l'est du pays, où se trouvent des zones céréalières potentielles, ont pâti du stress hydrique durant la période allant de mars à avril, le rendement à l'hectare est resté inchangé par rapport à la campagne précédente, soit 14 q/ha: selon l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (OAIC).

Le rendement du blé dur années : 2010-2015



Source : MADRP

Les rendements en blé dur ont diminué de 1,2% en 2014/2015 (soit 15,4 q/ha) par rapport à la campagne précédente (soit 15,6q/ha).

Source : MADRP

I.2.1.Définition La salinité

La salinité se définit comme l'accumulation de sels hydrosolubles dans le sol tels que le potassium, le magnésium, le calcium, le chlore, le sodium, le sulfate de sodium.... Les sels se dissolvent et se déplacent avec l'eau. Quand l'eau s'évapore, les sels restent à la surface du sol. Le phénomène de salinisation se trouve localisé, dans la majorité des cas, dans les régions steppiques ou ce processus est plus apparent du fait des températures élevées sur une bonne période de l'année mais aussi à cause d'un manque de drainage efficient. (Drevon et sifi,1998).

Cette salinisation peut être d'ordre *naturel*, due à une forte teneur en sels du matériau parental ou de la remontée de sels des nappes phréatiques dans les régions arides et semi-arides. Elle peut être aussi d'origine *anthropogène*, comme les pratiques agricoles inappropriées (Toth, 2014). Elle constitue une menace pour les cultures

(Munns *et al.*, 2008) particulièrement dans les régions suscitées. Les conséquences majeures dues à la salinité et l'aridité sont une augmentation de la pression osmotique, une toxicité pour les végétaux de part l'accumulation de certains ions (dont Na⁺) et une dégradation du sol. Notons que l'intensité du stress varie d'un endroit à l'autre.

Selon Keren (2000) 23% des sols cultivés dans le monde, sont affectés par des problèmes de salinité. Les sols salins couvrent 397 millions d'hectares et les sols sodiques 434 millions d'hectares (FAO, 2000).

Le stress salin engendré peut se définir comme l'ensemble des perturbations morphologiques et physiologiques provoquées par un taux élevé de molécules de NaCl qui s'accumulent au niveau de la plante (Wang *et al.*, 2001).

La réponse des végétaux à la salinité dépend de l'espèce, de la variété, de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante (Raven, 2007).

I.2.2. Les halophytes et les glycophytes :

Les plantes sont classées en fonction de leur tolérance à la salinité. Deux principales catégories se distinguent. Ce sont les halophytes et les glycophytes.

Les halophytes, qui sont capables de croître et de se développer sous un régime salin de 300mM de Na Cl (Tester et Davenport, 2008), comme l'alfa, l'arroche nummulaire.

Les glycophytes ne tolèrent pas les conditions salines. Comme exemple, nous citons le riz et le soja. Le blé dur étant classé moyennement tolérant (Porcel *et al.*, 2011).

Les effets du stress salin sont nombreux. En effet, les plantes peuvent présenter un déséquilibre nutritionnel, un dérèglement osmotique, un stress oxydant, une toxicité... Aussi, sur le plan de la production, des baisses de rendements sont observées.

I.2.3. Effets de la salinité sur les plantes et leurs mécanismes d'adaptation :

La réponse des plantes au stress salin s'établit par différents mécanismes comme la régulation des stomates, le rééquilibrage hormonal, l'activation d'un système de défense antioxydant et l'ajustement osmotique.

Le sel interfère avec l'absorption de l'eau du sol par la plante. Il retient les molécules d'eau dans le sol empêchant celles-ci d'être absorbées par la plante d'autant plus que l'eau est vitale pour la plante : elle assure le maintien de la forme et de la structure de la plante par le mécanisme de turgescence ; elle est le donneur primaire d'électrons dans la photosynthèse, elle représente un substrat pour les réactions enzymatiques (l'hydrolyse)...etc.

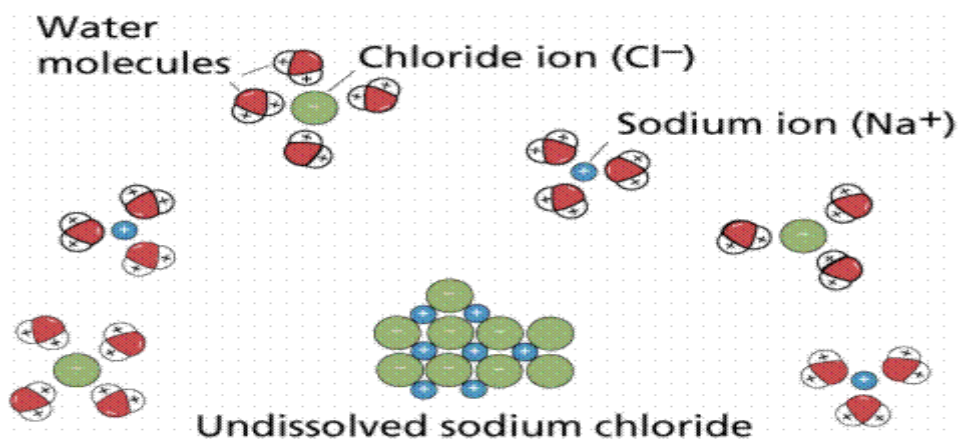


Figure 2. schéma montrant les réactions des ions Na^+ et Cl^- avec les molécules d'eau qui sont bipolaires.

En outre l'excès de sel provoque chez la plante des dérèglements métaboliques qui se manifestent par une déstabilisation de la conformation de nombreuses protéines, compétition entre les ions Na^+ et K^+ dont ce dernier participe dans le fonctionnement de plusieurs enzymes comme cofacteur, dans la synthèse de certaines protéines, dans la stimulation de la photosynthèse, dans le fonctionnement des stomates (en entrant dans les cellules de garde, ce qui provoque l'entrée d'eau et l'ouverture du pore stomatique...).

Cependant, la plante ne demeure pas sans aucun mécanisme de défense ; elle emmagasine au niveau des vacuoles de ses racines les ions Na^+ . Ce phénomène est connu sous le nom de compartimentation. Toutefois, le taux élevé des ions sodium est un

problème pour les jeunes feuilles qui n'ont pas cette capacité à constituer des compartiments en raison de leurs petites vacuoles.

Les ions chlorures présents en grande quantité dans la plante ne posent pas de contrainte pour cette dernière, ils interviennent dans la décomposition de la molécule d'eau lors de la photosynthèse qui produit de l'oxygène ; et jouent un rôle dans l'osmose et l'équilibre ionique.

L'autre stratégie permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique (Blumwald et al. 2004; Munns 2005). La régulation qualitative et quantitative du transport des ions permet de maintenir la concentration ionique dans une gamme de valeurs compatibles avec un métabolisme cellulaire normal. L'exclusion commence avec la sélectivité de la membrane racinaire, ce qui peut résulter d'une réduction de la perméabilité passive, de la présence de transporteurs sélectifs et d'un transport vers le milieu extérieur des ions déjà absorbés (Apse et Blumwald 2007).



I.3.2.Définition des mycorhizes

Du grec (*mykes* , champignon, *rhiza*, racines) , les mycorhizes représentent une relation symbiotique entre le mycélium d'un champignon et les racines d'une plante vasculaire.

I.3.2.Les types de mycorhizes

Le symbiote fongique s'associe de diverses manières avec les racines de la plante-hôte, ce qui conduit à la réalisation de structures mycorhiziennes différentes qui ont été décrites comme des ectomycorhizes, des endomycorhizes, et des ectendomycorhizes. Chacun de ces types mycorhiziens présente une organisation qui lui est propre. Il est à signaler que quelque soit le type, le champignon reste confiné dans le cortex racinaire et ne franchit jamais la barrière endodermique.

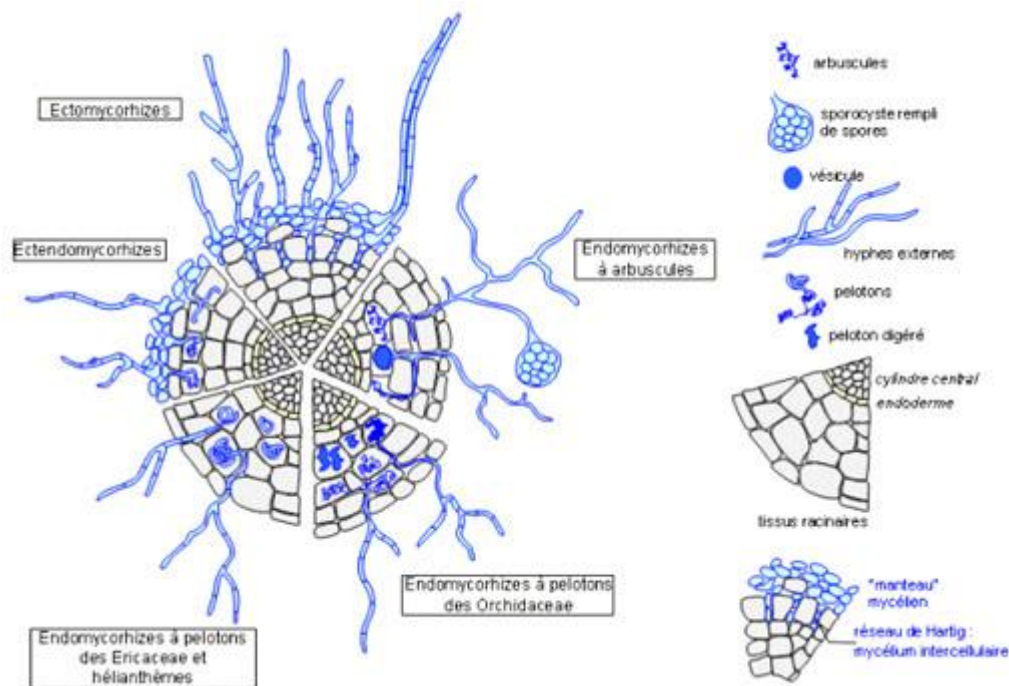


Figure 3. Les Différents Mycorhizes : Schémas Des Symbioses Plantes Supérieures-Champignons.

I .3.2.1. Les endomycorhizes

Les endomycorhizes présentent un mycélium qui pénètre dans le cortex racinaire, en formant des digitations appelées *arbuscules* qui repoussent la membrane plasmique des cellules du parenchyme cortical en créant une surface propice aux échanges entre les deux partenaires ; en outre, il y a souvent formation de *vésicules* dont le rôle est de stocker les nutriments.

Plusieurs types d'endomycorhizes se distinguent :

- Les mycorhizes à vésicules et à arbuscules qui appartiennent à la classe des Zygomycètes caractérisée par des hyphes coenocytiques c'est-à-dire non cloisonnés et par une reproduction à zygospores mobiles et au genre *Glomus* ; elles s'associent aux espèces maraîchères , aux céréales et certaines espèces arboricoles comme le figuier et l'olivier.
- Les mycorhizes à pelotons qui sont essentiellement formées par des Ascomycètes et des Basidiomycètes.

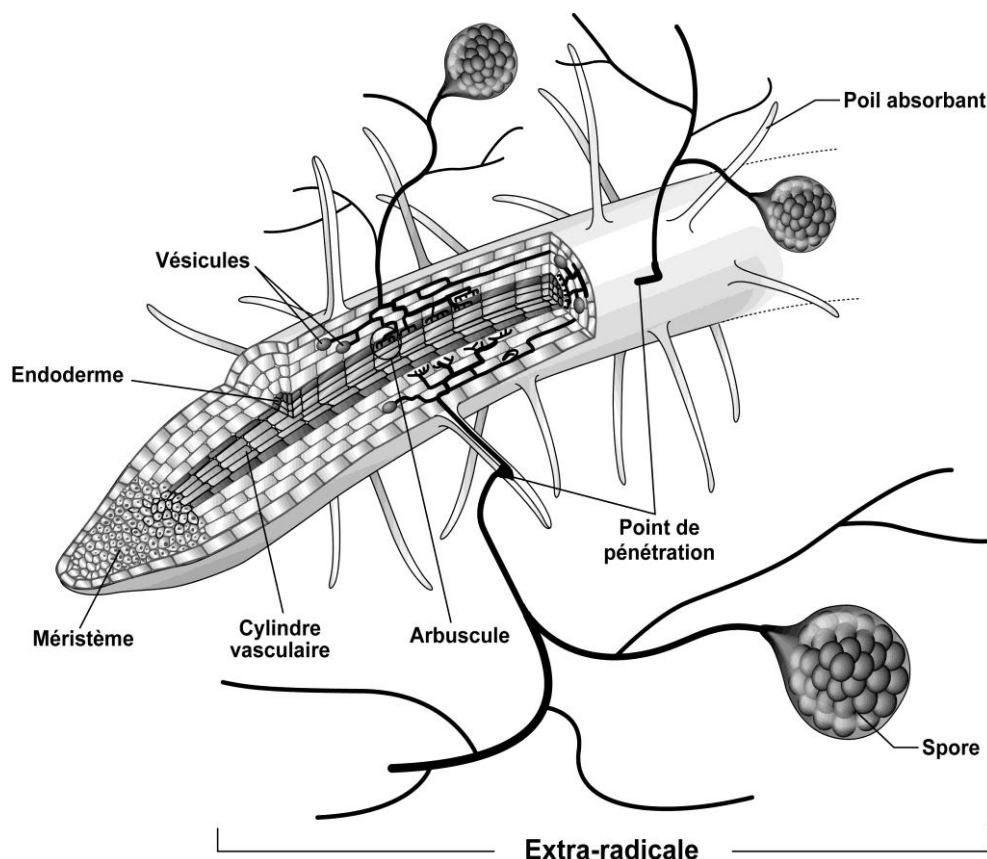


Figure 4. schéma représentatif de la morphologie racinaire d'une racine endomycorhizée, le champignon en question est un champignon endomycorhizien à vésicule et à arbuscule.

Remarque : le blé est colonisé par des endomycorhizes de type : champignons mycorhiziens à arbuscules et à vésicules (CMAV) (Anonyme, 2015).

I.3.2.2. Les ectomycorhizes

Ce type de relation concerne notamment les essences forestières et n'affecte que 5% des espèces végétales . Les ectomycorhizes appartiennent à la classe des Ascomycètes et des Basidiomycètes qui sont des champignons supérieurs (mycélium septé, et se reproduisent respectivement par des asquespores et des basidiospores). Dans la nature, les spores produites représentent une part importante de l'inoculum (Strullu, 1989).



Figure 5 : photographie représentant une ectomycorhize formant son manteau fongique au tour de la racine d'une plante ligneuse.

Le champignon ne pénètre pas dans la racine, le mycélium entoure celle-ci en formant un manchon périphérique qui prend le nom de « manteau fongique »

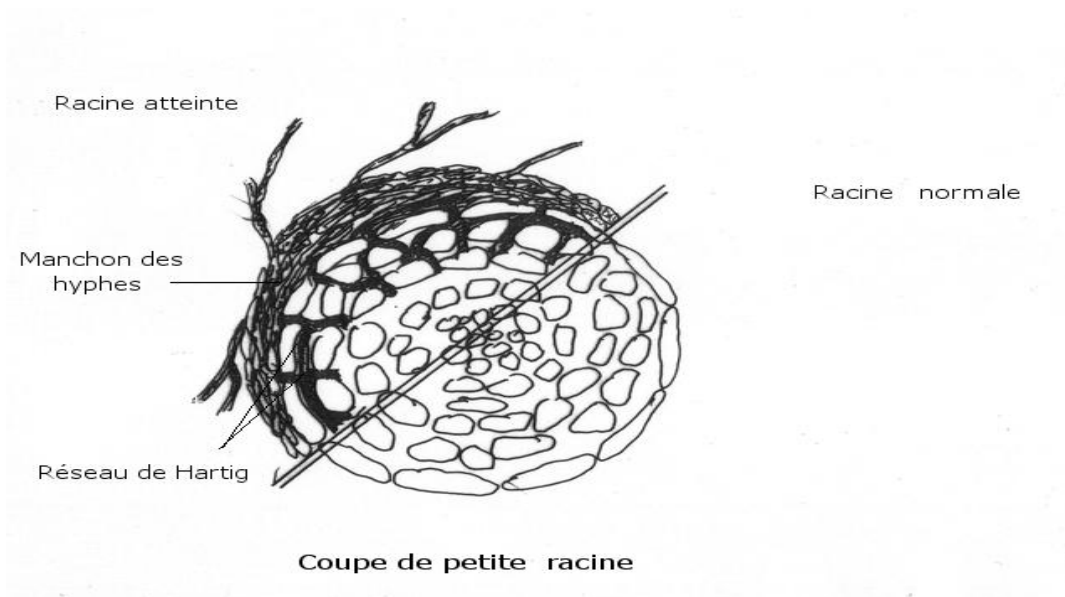


Figure 6 : schéma montrant la différence entre une racine normale(non mycorhizée) et une racine affectée par un champignon ectomycorhizien.

I.3.2.3. Les ectendomycorhizes

Ce sont des mycorhizes présentant à la fois des structures d'ectomycorhizes et des endomycorhizes. C'est ainsi que chez l'Ericacée *Arbutus unedo*, le champignon forme un manteau, un réseau de Hartig et des pelotons intracellulaires (Munzenberger et *al.*, 1992). Chez les Ericacées, ce type de mycorhizes est qualifié d'arbutoïdes.

Parfois, les ectendomycorhizes montrent des organisations beaucoup plus insolites comme le cas des mycorhizes monotropoïdes (*Monotropa hypopitys*). Le champignon forme un manteau, un réseau de Hartig à partir des hyphes de la base du manteau ou des hyphes du réseau de Hartig, une ramification en forme de coin très aigu perce la paroi cellulaire et représente la formation endomycorhizienne.

I.3.3. Le mécanisme de mycorhization chez les CMA (Champignons Mycorhiziens à Arbuscules)

Pour l'établissement de la symbiose, plusieurs étapes sont nécessaires. Tout d'abord, les spores du champignon doivent germer. La plante produit des exsudats racinaires (comme le strigolactone) qui induisent la germination des spores et la ramification des hyphes. La germination se traduit par la formation d'un tube (germinatif) qui se développe et entre en contact avec la racine pour former l'appressorium (Parnisk, 2008, Peterson et *al.*, 2004). Il est important de signaler que

d'autres sources de propagules sont possibles, comme les fragments de racines mycorhizées et les vésicules (Porcel *et al.*, 2011).

L'appressorium est formé à la surface de la racine. Les cellules de la plante produisent un appareil de pénétration qui permet à l'hyphe d'atteindre le cortex racinaire (Parnisk, 2008). Ensuite, les hyphes du champignon se développent latéralement à travers la racine et pénètrent les cellules pour former des structures intracellulaires : les arbuscules et les vésicules.

Les arbuscules sont une succession de ramifications dichotomiques qui se développent à l'intérieur des cellules via une ouverture de la paroi cellulaire, et forment des invaginations avec la membrane plasmique. Les arbuscules constituent le site d'échange actif entre la plante et le champignon (Declerck, 2014). Il existe deux types de ramification des hyphes : le type ARUM où les hyphes présentent un développement longitudinal dans l'espace intercellulaire des racines et le type PARIS où les hyphes se développent de cellule en cellule (Peterson *et al.*, 2004, Declerck, 2014).

Les vésicules se développent à partir des hyphes à l'intérieur de la cellule ou dans l'espace intercellulaire. Elles sont formées par des renflements des hyphes intra racinaires et contiennent une haute teneur en lipides. Par conséquent, elles constituent une structure de stockage.

Autour de la racine, les hyphes qui sont des structures filamenteuses non septées, se développent et forment le mycélium extra-racinaire qui permet à la plante d'explorer un volume de sol plus étendu

I.3.4. Le potentiel infectieux mycorhizogène du sol (PIM)

Les champignons mycorhiziens sont naturellement présents dans les agro écosystèmes. Cependant, leur population est sujette à des fluctuations sous l'action des facteurs édaphiques et culturels. Le PIM d'un sol caractérise non seulement la population de champignons mycorhiziens présents dans le sol sous forme de spores, de mycélium et de fragments de mycorhizes, mais aussi le fait que cette population est apte à former des mycorhizes sous des conditions du sol en question. Il varie surtout en fonction des pratiques culturales telles que la désinfection (agent fumigeant, vapeur,

solarisation), l'application d'engrais et de pesticides, la rotation des cultures ou la jachère. Les plantes à forte dépendance mycorhizienne favorisent le développement des champignons ce qui à une incidence directe sur l'augmentation du potentiel infectieux mycorhizogène du sol (Plenchette, 2000).

I.5.Intérêts de la mycorhization

De nombreux auteurs rapportent que les mycorhizes stimulent la croissance des végétaux ce qui serait dû à une meilleure alimentation hydrique et minérale. En effet, les plantes mycorhizées sont plus riches en éléments minéraux que celles qui ne le sont pas. Pour un développement égal, il faut apporter plus d'engrais aux plantes non mycorhizées qu'à celles qui sont mycorhizées. Cette efficacité est attribuée à une augmentation de la surface absorbante. Une meilleure nutrition phosphatée et meilleure accessibilité aux oligo-éléments (cuivre, zinc, fer) est constatée lorsque la concentration dans la solution du sol est faible et le coefficient de diffusion dans le sol est très faible pour la plante.

L'importance agronomique des champignons MA repose en partie sur leur capacité à pourvoir la plante en éléments nutritifs qui diffusent très lentement dans le sol et dont les zones d'épuisement se développent aux environs immédiats de la racine (Marschner, 1995 ; Siverding ,1991). La disponibilité du phosphore dans le sol étant un des principaux facteurs limitant la croissance De nombreux auteurs considèrent les réponses de croissance dues à la mycorhization comme étant une conséquence directe ou indirecte de l'amélioration de la nutrition phosphatée.

Marschner (1995) rapporte qu'en général, le taux d'absorption du P par unité de longueur de la mycorhize (racine colonisée) est 2 à 3 fois plus élevé que dans les racines non colonisées. Cette amélioration s'explique partiellement par l'exploration d'un grand volume de sol par les hyphes externes (Rhodes et Gerdemann, 1975).

I.6.La relation entre le sol et les CMA

Les champignons les plus abondants dans les sols cultivés sont les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA). Ils constituent 5% à 50% de la biomasse microbienne des sols (Olson et *al.*, 1999). La biomasse des hyphes mycorhiziens peut varier de 54 à

900 kg par hectare (ZHU, MILLER, 2003). La croissance des hyphes dans le sol s'accompagne d'une production de glomaline (glycoprotéines) qui améliore l'agrégation des particules du sol. En plus des apports avantageux des mycorhizes aux plantes, les champignons mycorhiziens améliorent nettement la qualité et la structure du sol (Bonfante, 2001, Smith et Read, 2008)

La formation des mycorhizes à arbuscules modifie les relations plante-sol. Elle joue un rôle *biofertilisant*, *bioprotecteur* et *biorégulateur* pour la plante (Gianinazzi et Wipf, 2010). L'avantage principal est que ces champignons forment un lien étroit entre les racines de la plante et le sol. En conséquence, les plantes mycorhizées sont souvent plus compétitives et plus capable de tolérer les stress environnementaux que les plantes non mycorhizées.

Les avantages des plantes pour ces symbioses mycorhiziennes peuvent être caractérisés sur le plan agronomique par une croissance accrue et un meilleur rendement.

Les avantages qu'apporte la mycorhization semblent d'une importance capitale dans le cadre d'une agriculture durable et de conservation laquelle implique une réduction du travail du sol, sa couverture permanente, les rotations et les associations culturales mais aussi une moindre utilisation des intrants. Ces derniers pouvant être des fertilisants chimiques et des produits phytosanitaires qui entraînent à long terme une pollution des sols et de l'environnement.

Cette association symbiotique contribue à la pérennité des sols et des espèces végétales et indirectement à la santé et la vie humaine. Les champignons mycorhiziens (organismes telluriques) font partie des grands équilibres biologiques terrestres perturbés par l'activité humaine, agricole en particulier. L'orientation vers une agriculture durable, moins consommatrice d'intrants, respectueuse de l'environnement, de la qualité du produit et soucieuse de maintenir la diversité des espèces, doit être appliquée et élargie aux diverses régions du globe. Il convient par conséquent de préserver, par des pratiques culturales adaptées, ces microorganismes bénéfiques pouvant dans certaines situations pallier l'utilisation d'engrais chimiques (Planchette, 2003).

De ce fait, pour maintenir la fertilité optimale d'un sol, il faudrait connaître son potentiel mycorhizogène car il nous renseigne sur sa richesse en propagules (des spores

libres, des spores prises sur des débris, des spores dans les tissus de racine, du mycélium, des fragments de racines) aptes à générer une mycorhization.

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.1.Objectif de l'expérimentation

L'essai consiste à évaluer l'effet d'un inoculum mycorhizien sur la croissance et le développement de 2 variétés de blé dur, sous des conditions de salinité.

II.2. Matériel végétal

La présente étude porte sur deux variétés de blé dur, choisies pour leurs caractéristiques agronomiques, technologiques et de tolérance au stress salin.

*La variété **BOUSSALEM**. C'est une variété locale caractérisée par une hauteur moyenne 75cm et de faible glaucescence, de pigmentation anthocyanique très faible et des barbes de couleur noire. D'un point de vue agronomique, son rendement est élevé. Elle possède aussi une très bonne qualité semoulière, un PMG (Poids de Mille Graines) élevé et une teneur en protéines de 15,01% ; elle est résistante au mitadinage. En ce qui concerne les maladies cryptogamiques, elle est moyennement sensible à l'oïdium sur feuilles, à la septoriose mais elle est sensible à la rouille brune.

Remarque I : Boussalem est moyennement tolérante à la salinité (Bouchakour, 2014).

*La variété **SIMETO**. Son nom local est *Sersou*. Cette variété est de provenance italienne, elle est caractérisée par une hauteur moyenne de 80 cm et une forte glaucescence, avec une pigmentation anthocyanique très faible, des barbes de couleur noire. Sur le plan agronomique, elle présente un rendement élevé. Quant à sa valeur technologique, elle est d'une très bonne qualité semoulière. Son PMG (Poids de Mille Graines) est élevé avec une teneur en protéines de l'ordre de 15,80%. Elle est résistante au mitadinage. Quant à l'aspect phytosanitaire, elle est moyennement sensible à l'oïdium sur feuilles, à la rouille brune, à la septoriose mais elle est résistante à l'oïdium sur épis.

Remarque II : Siméto est plus résistante à la salinité par rapport à Boussalem (Bouchakour, 2014).

II.3. Méthodologie

II.3.1. Installation de l'essai

L'essai expérimental est conduit dans des pots en plastiques d'une contenance de 400g pendant 8 semaines sur un substrat composé (2/3 de terre. -1/3 dont : 2/3 de sable et 1/3 de terreau) .

Nous avons mis en place le dispositif expérimental de la manière suivante :

L'expérimentation compte 80pots répartis de la manière suivante: 40 pour Boussalem, 40 pour Siméto dont :

10 témoins non salés non mycorhizés, 10 témoins mycorhizés non salés ,10 salés non mycorhizés, 10 salés mycorhizés.

Après la stérilisation de notre sol, nous avons semé 3graines dans chaque pot que nous avons inoculé avec un champignon endomycorhizien à arbuscule prélevé à partir de la rhizosphère de l'ail triquètre (voir plus loin). Nous avons arrosé les plants salés et salés mycorhizés avec une solution salée de concentration 8g/L et une quantité de 20ml de cette solution pour chaque pot. L'arrosage s'effectue 1 à 2 fois par semaines. Pour les plants témoins et mycorhizés nous avons arrosé à l'eau 1 à 2 fois par semaine avec une quantité de 20 ml durant 3 mois. Nous avons fait des prélèvements de température chaque jour.

Nous avons fait sortir les plants au champ quotidiennement durant toute la période expérimentale qui a duré 3 mois.



Figure 8 : Essai expérimental 15 jours après le semis (photo originale)

II.3.2. Les traitements

II.3.2.1. Le niveau de salinité

Le niveau de stress salin a été fixé à 8g/l suite aux travaux préalables menés sur ces deux variétés: Une solution saline a été préparée avec 8 g de Na Cl.

II.3.2.2. L'inoculation mycorhizienne

L'inoculation des graines de blé a été effectuée par l'apport de 5 g du sol rhizosphérique, de l'ail triquètre (*Allium triquetrum*) comprenant les propagules (spores et racines mycorhizées,) de champignons mycorhiziens arbusculaires ;

Le sol utilisé comme inoculum mycorhizien provient de la rhizosphère d'une espèce spontanée l'ail triquètre (*Allium triquetrum*) ou l'ail à trois angles. Il(Le sol) est de texture limoneuse et il a une structure grumeleuse avec un taux de MO de 4,019 ce qui représente un sol faiblement humifère. L'échantillonnage a eu lieu sur plusieurs points dans une prairie naturelle au niveau de la région de Draa El Mizan située à 42km de la wilaya de Tizi Ouzou.

L'inoculum a été mis dans le creux du substrat où les graines ont été semées. Pour les plants témoins n'ayant reçu aucun inoculum, les graines ont été déposées directement sur le substrat sans apport de champignons.

II.3. 3. Paramètres mesurés

➤ Mesure de la longueur racinaire

La longueur racinaire mesurée à l'aide d'une règle graduée nous renseigne sur l'effet du stress salin sur les plantes qui ont subi différents traitements cités ci-dessus comparativement au témoin et au mycorhizé. Les mesures de la longueur racinaire ont débuté 3 semaines après le début de l'irrigation à l'eau salée. Elles ont été effectuées tous les 15 jours jusqu'à la fin de l'expérimentation.

➤ Le nombre de racines

Le comptage du nombre racinaire tous les 15 jours nous renseigne sur la croissance et le développement des plantes pour les quatre traitements.

➤ Le poids frais racinaire

Il nous renseigne sur l'influence de la salinité sur la biomasse racinaire pour les traitements concernés en comparaison au témoin et au mycorhizé.

➤ Estimation du taux de mycorhization Utilisation de la méthode Trouvelot (INRA 2009)

Elle se fait au moyen de 5 paramètres qui sont les suivants :

1-La fréquence de mycorhization :

$$F\%=(\text{nb de fragments myco}/\text{nb total})\cdot 100$$

2-Intensité globale de mycorhization :

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

Où n_5 = nb de fragments notés 5 ; n_4 = nb de fragments notés 4

3-Intensité de mycorhization des fragments mycorhizés :

$$m\% = M \cdot (\text{nb total}) / (\text{nb myco}) = M \cdot 100 / F$$

4-Intensité arbusculaire de la partie mycorhizée :

$$a\%=(100m_{A3}+50m_{A2}+10m_{A1})/100$$

où m_{A3} , m_{A2} , m_{A1} sont les % de m respectivement affectés des notes A3, A2 ,A1, avec :

$$m_{A3} = ((95n_5A_3+70n_4A_3+30n_3A_3+5n_2A_3+n_1A_3)/\text{nb myco})\cdot 100/m$$

et de même pour A2 et A1.

5-Intensité arbusculaire dans le système racinaire :

$$A\%=a\cdot (M/100)$$

Pour faire ces calculs nous avons observé au microscope optique 30 fragments du système racinaire de nos deux variétés que nous avons coloré au bleu de Trypan (Philips et Hayman ,1971) pour rendre observable le champignon dans la racine. Pour chaque traitement : témoin, mycorhizé, salé et salé- mycorhizé nous avons préparé 3 lames contenant chacune 10 fragments de 1cm.

La coloration au bleu de Trypan (Philips et Hayman ,1971):

Pour observer les racines de blé mycorhizées nous avons effectué une coloration au bleu de Trypan. Nous avons procédé de la manière suivante :

1-Nous avons préparé une solution d'hydroxyde de potassium KOH à une concentration de 10% pour blanchir les racines et enlever les tanins.

2-Nous avons placé les racines (après rinçage) dans notre solution de KOH dans un bécher, puis nous avons couvert avec du papier aluminium.

3-Ensuite nous avons mis notre préparation à l'étuve pendant une heure à une température de 90°C.

4- Nous avons fait sortir notre préparation de l'étuve et rincé les racines avec de l'eau.

5- Nous avons placé nos racines dans de l'eau oxygénée H₂O₂, puis les avons remises dans l'étuve pendant 10 à 20 minutes.

6-Après rinçage, Nous avons mis les racines dans de l'acide lactique à 1% pour les neutraliser.

7- Ensuite nous avons coloré les racines au bleu de Trypan.

8-Enfin nous les avons mises dans le glycérol pendant 24h pour fixer la coloration.

Pour les résultats obtenus, ils ont été réalisés avec le logiciel ANOVA et XLSTAT.

Signification des symboles dans résultats et discussions :

NS : Non Significatif

S : Significatif

HS : Hautement Significatif

THS : Très Hautement Significatif

ET : Ecart Type

CV : Coefficient de variation

En ce qui concerne les deux variétés Boussalem et Siméto :

T : Témoin non salé non mycorhizé

S : Salé non mycorhizé

TM : Témoin Mycorhizé

SM : Salé Mycorhizé

Chapitre III : Résultats et Discussion

Cette partie rassemble les résultats obtenus sur la partie racinaire de 2 variétés de blé dur en réponse à un traitement salin en présence ou non d'un inoculum mycorhizien.

III-1. Effet de la salinité sur les paramètres racinaires

III-1-1. Longueur racinaire

Tableau1. Effet de la salinité sur la longueur racinaire (cm).

DPPAS (jours)	Siméto Mycorhizé		Siméto Non Mycorhizé		Boussalem Mycorhizé		Boussalem Non Mycorhizé	
	Salé	Non Salé	Salé	Non Salé	Salé	Non Salé	Salé	Non Salé
15j	6,708 ±2,247	7,813 ±1,463	8,125 ±1,49	9,458 ±1,18	6,75 ±1,24 2	6,558 ±2,05	6,229 ±0,6	5,796 ±0,78
30j	18,875 ±6,562	29,375 ±10,73 4	17,625 ±3,4	37 ±17,4 7	22,37 5 ±2,75	30,5 ±12,68 9	9,875 ±9,46	33,25 ±9,84
45j	11 ±2,708	31,5 ±8,103	25 ±8,04	24,5 ±3,11	21,12 5 ±3,27 6	31,625 ±5,822	18 ±1,23	28,75 ±10,5
60j	24,625 ±10,65 7	36,375 ±6,047	27,5 ±4,2	28 ±2,8	25,25 ±5,05 8	39,75 ±2,217	19,25 ±5,32	26,75 ±6,34
Moyenn e	15,302 ±5,81	26,266 ±6,63	19,56 ±4,4	24,74 ±8,05	18,87 5 ±3,1	27,108 ±6,48	13,34 ±4,89	23,61 ±7,04
	Essai Mycorhizé				Essai Non Mycorhizé			
	F	Pr > F	Signification		F	Pr > F	Signification	

var.factr 1 Variét	1,956	0,1648 1	NS	CV 28,8 5%	4,363	0,0398 7	S	CV 34,5 3%
var.factr 2 Salint	36,965	0	THS		19,46 1	0,0000 9	THS	
var.factr 3 stade	44,207	0	THS		24,20 4	0	THS	
var.inter F1*2	0,748	0,3957 4	NS	ET 6,31 5%	2,131	0,1470 2	NS	ET 7,01 6%
var.inter F1*3	0,551	0,6537 2	NS		0,313	0,8180 4	NS	
var.inter F2*3	4,378	0,0084 6	HS		7,04	0,0005 7	THS	
var.inter F1*2*3	0,711	0,5534 9	NS		0,608	0,6168 1	NS	

DPPAS Dates de prélèvement des plants après le semis (jours)

Les résultats illustrés dans le tableau 1 montrent un effet salinité et un effet stade de prélèvement des échantillons très hautement significatifs ($p \leq 0,001$) dans les conditions de mycorhization et de non mycorhization.

L'interaction de la salinité avec les stades de prélèvement est hautement significative ($p \leq 0,01$) en conditions de mycorhization et devient très hautement significative sans mycorhization.

L'effet variétal est non significatif en conditions de mycorhization et devient significatif en conditions de non mycorhization. Dans ce dernier cas la différence variétale est en relation avec la diminution de la longueur racinaire de la variété Boussalem en conditions de non mycorhization. Nous observons en effet une réponse positive de cette variété à la mycorhization, dans ces conditions sa longueur racinaire augmente de 32% pour le témoin et de 23% pour le traitement salé. (Figure 9).

Contrairement à cela la longueur racinaire de Siméto augmente en conditions de mycorhization uniquement pour le témoin (Figure 9).

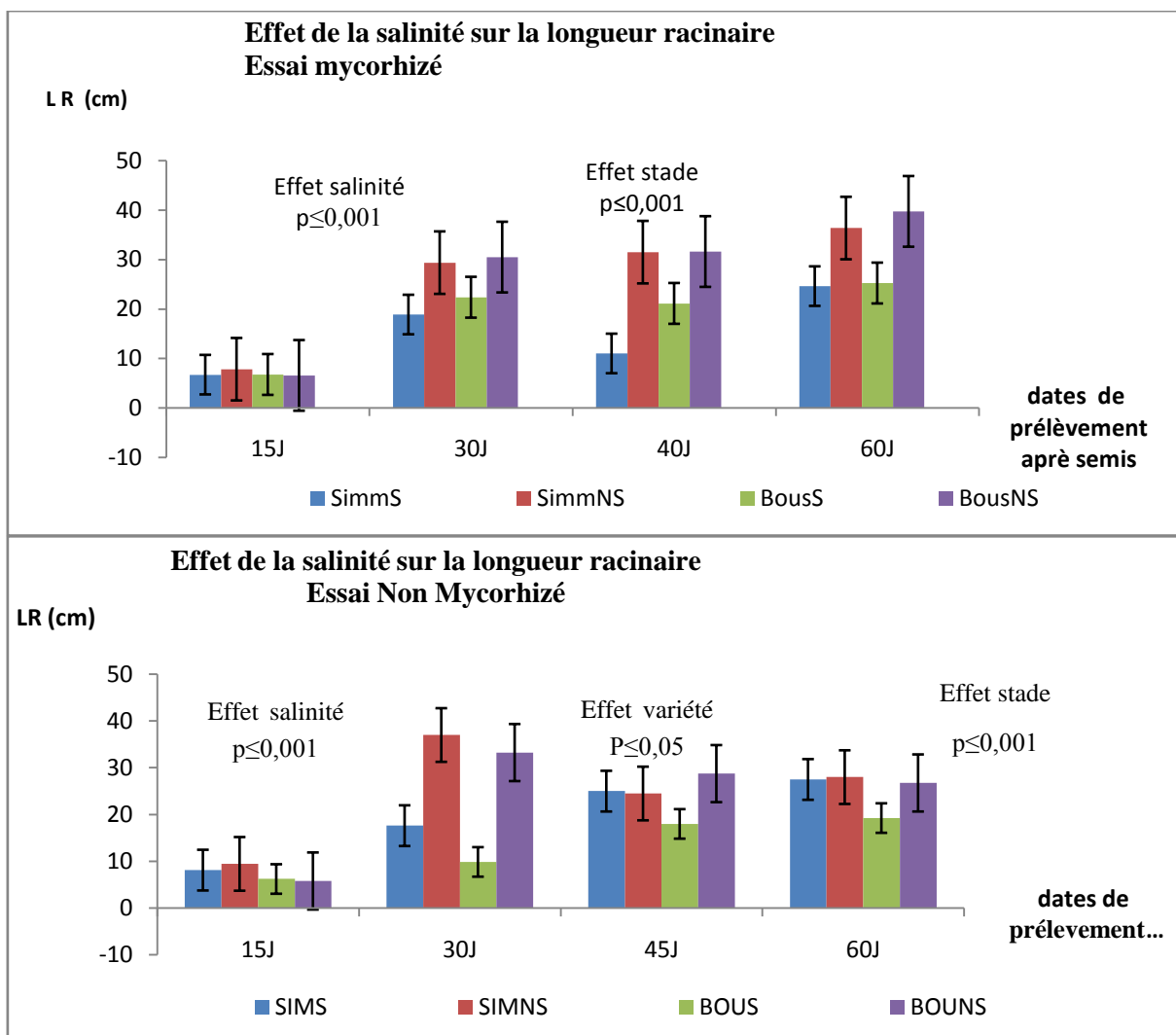


Figure 9. Effet de la salinité sur la longueur racinaire

III-1-2. Nombre de racines principales

Les résultats montrent un effet salinité et stade de prélèvement des échantillons très hautement significatifs ($p \leq 0,001$) dans les deux traitements mycorhizé et non mycorhizé, l'interaction salinité et stade de prélèvement est hautement significative ($p \leq 0,01$) dans le traitement mycorhizé et significatif dans le traitement non mycorhizé.

Tableau 2. Effet de la salinité sur le nombre de racines principales.

DPPAS (jours)	Siméto Mycorhizé		Siméto non Mycorhizé		Boussalem Mycorhizé		Boussalem Non Mycorhizé	
	Salé	Non Salé	Salé	Non Salé	Salé	Non Salé	Salé	Non Salé
15j	5,542 ±0,316	5,833 ±0,527	5,25 ±0,5	5,125 ±0,63	5,792 ±0,47 9	5,583 ±0,66	5,25 ±1,5	5 ±0,72
30j	5 ±0,816	7,5 ±1,291	6 ±0	6,25 ±0,5	6,5 ±1	6,75 ±1,26	4,25 ±2,97	7 ±1,41
45j	6,5 ±0,577	9,75 ±0,957	6,5 ±0,58	5,75 ±0,5	5,75 ±0,97	9 ±2,16	4,75 ±0,5	7,75 ±1,71
60j	6,25 ±0,96	8,25 ±0,957	6 ±0,82	9,25 ±0,5	7 ±2,45	7,5 ±1,732	5 ±0,82	7,5 ±3,11
Moyenn e	5,82 ±0,64	7,83 ±0,87	5,94 ±0,5	6,59± 0,48	6,26 ±1,28	7,21 ±1,39	4,82 ±1,56	6,81 ±1,738
	Essai Mycorhizé				Essai Non Mycorhizé			
	F	Pr > F	Significa tion		F	Pr > F	Significatio n	
var.factr 1 Variét	0,095	0,7567 8	NS	CV 17,91% ET 1,215	1,777	0,18566	NS	CV 22,52% ET 1,36
var.factr 2 Salint	23,727	0,0000 2	THS		15,26 5	0,00037	THS	
var.factr 3 stade	8,938	0,0001	THS		4,718	0,00588	THS	
var.inter	3,061	0,0829	NS		3,907	0,05114	NS	

F1*2		2					
var.inter		0,6196					
F1*3	0,604	2	NS		0,966	0,41821	NS
var.inter		0,0056					
F2*3	4,759	3	HS		3,433	0,0239	S
var.inter		0,5670					
F1*2*3	0,688	4	NS		2,464	0,07256	NS

DPPAS Dates de prélèvement des plants après le semis (jours)

La figure 10 illustre l'effet de l'inoculation mycorhizienne sur le comportement variétal, elle montre ainsi une augmentation du nombre de racines principale dans le traitement salé et non salé durant tous les stades de prélèvement.

Cet effet positif est nettement plus apparent chez la variété Boussalem qui montre une augmentation moyenne du NRP de 23% dans le traitement salé et 5,5% pour le témoin. Chez la variété Siméto l'augmentation du NRP est plus visible pour le témoin où elle atteint 1,24%.

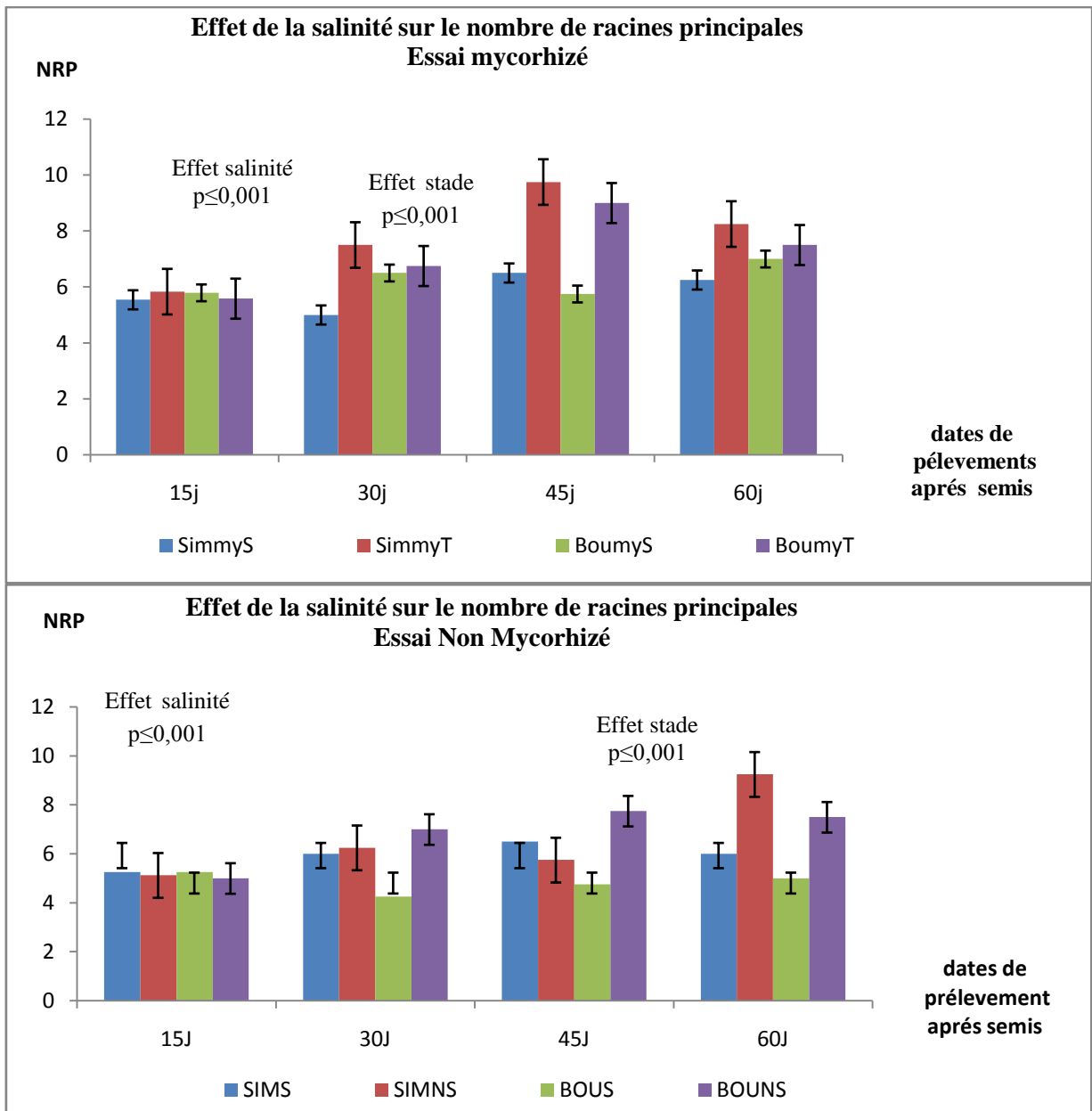


Figure 10. Effet de la salinité sur le nombre de racines principales (NRP)

III-1-1-3. Le poids frais racinaire

Les résultats montrent un effet salinité et un effet stade très hautement significatifs et leur interaction hautement significative au niveau des deux traitements (mycorhizé et non mycorhizé), Le comportement variétal est contrasté d'une manière hautement significative dans le traitement mycorhizé et très hautement significative dans le traitement non mycorhizé, l'interaction variété salinité est par contre non significative dans le traitement non mycorhizé et très hautement significative dans le traitement mycorhizé (Tableau 3).

Tableau 3. Effet de la salinité sur le poids frais racinaire (cm)

DPPAS (jours)	Siméto Mycorhizé		Siméto Non Mycorhizé		Boussalem Mycorhizé		Boussalem Non Mycorhizé		
	Salé	Non Salé	Salé	Non Salé	Salé	Non Salé	Salé	Non Salé	
15j	0,067 ±0,022	0,082 ±0,015	0,086 ±0,01	0,103 ±0,01	0,068 ±0,01	0,045 ±0,016	0,043 ±0,014	0,023 ±0,004	
30j	0,121 ±0,05	0,373 ±0,155	0,237 ±0,08	0,363 ±0,13	0,157 ±0,03 7	0,212 ±0,1	0,064 ±0,058	0,283 ±0,19	
45j	0,075 ±0,03	0,28 ±0,067	0,127 ±0,05	0,19 ±0,039	0,113 ±0,03 2	0,155 ±0,062	0,087 ±0,017	0,162 ±0,09	
60j	0,159 ±0,05	0,237 ±0,015	0,025 ±0,001	0,054 ±0,031	0,143 ±0,02 7	0,139 ±0,036	0,015 ±0,01	0,045 ±0,03	
Moyenne	0,105 ±0,036	0,243 ±0,076	0,119 ±0,044	0,177 ±0,062	0,12 ±0,02 6	0,138 ±0,055	0,052 ±0,028	0,128 ±0,096	
	Essai Mycorhizé				Essai Non Mycorhizé				
	F	Pr > F	Significatio n		F	Pr > F	Significatio n		
var.factr1 Variét	9,762	0,00311	HS	CV 38,32% ET 0,058	10,88 1	0,0019 6	THS	CV 58,86	
var.factr2 Salint	28,61	0,00001	THS		14,71 1	0,0004 5		THS	% ET 0,07
var.factr3	18,79	0	THS		26,54	0		THS	

stade					1			
var.inter F1*2	17,004	0,0002	THS		0,251	0,6245 8	NS	
var.inter F1*3	0,468	0,70938	NS		2,067	0,1155 9	NS	
var.inter F2*3	6,347	0,00112	HS		4,671	0,0061 8	HS	
var.inter F1*2*3	1,577	0,20583	NS		0,604	0,6195 7	NS	

DPPAS Dates de prélèvement des plants après le semis (jours)

Le comportement variétal est mieux illustré par la figure 11 qui montre que la mycorhization améliore le poids frais racinaire pour les deux variétés pour les deux traitements durant tous les stades comparativement au traitement non mycorhizé.

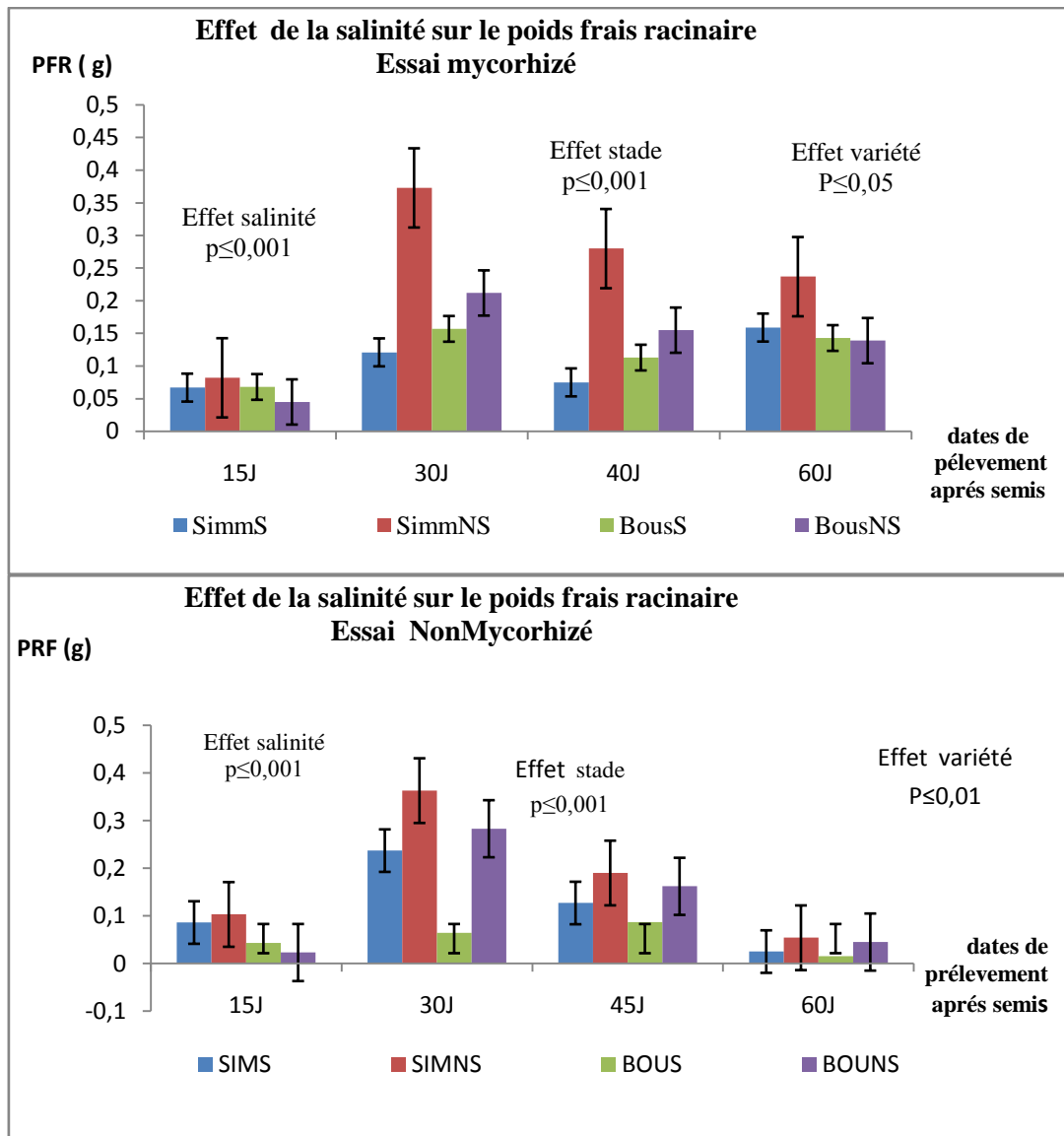


Figure 11. Effet de la salinité sur le poids frais racinaire PFR

Après soixante jours d'inoculation, les variétés Boussalem et Siméto accusent respectivement une augmentation de leurs poids frais racinaires de 89% et 87% en conditions de stress salin et 67% ; 77% au niveau du témoin sans stress salin.

Pour la variété Boussalem, l'amélioration du poids frais en conditions de salinité commence à 15 jours après semis, alors que pour la variété Siméto, l'amélioration est observée à 60 jours après semis, ceci comparativement au traitement non mycorhizé.

III.2.Effet de la salinité sur les paramètres de mycorhization

III.2.1. Essai mycorhizé

III.2.1. 1. La fréquence de mycorhization

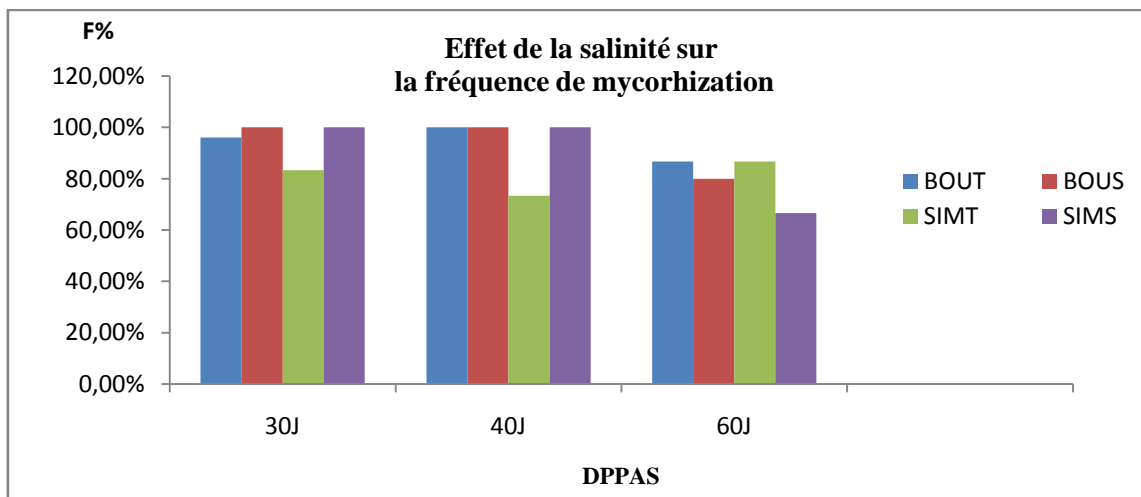


Figure 12. Effet de la salinité sur la fréquence de mycorhization

La figure 12 montre que la salinité n'a pas eu un effet significatif sur la fréquence de mycorhization racinaire chez les deux variétés Boussalem et Siméto durant les stades 30j et 40j où elle atteint les 100%. Mais à 60j nous observons une diminution significative de la fréquence mycorhizienne surtout sur les échantillons salés ceci sans distinction entre les deux variétés étudiées.

III.2.1. 2. Effet de la salinité sur l'intensité globale et absolu de mycorhization

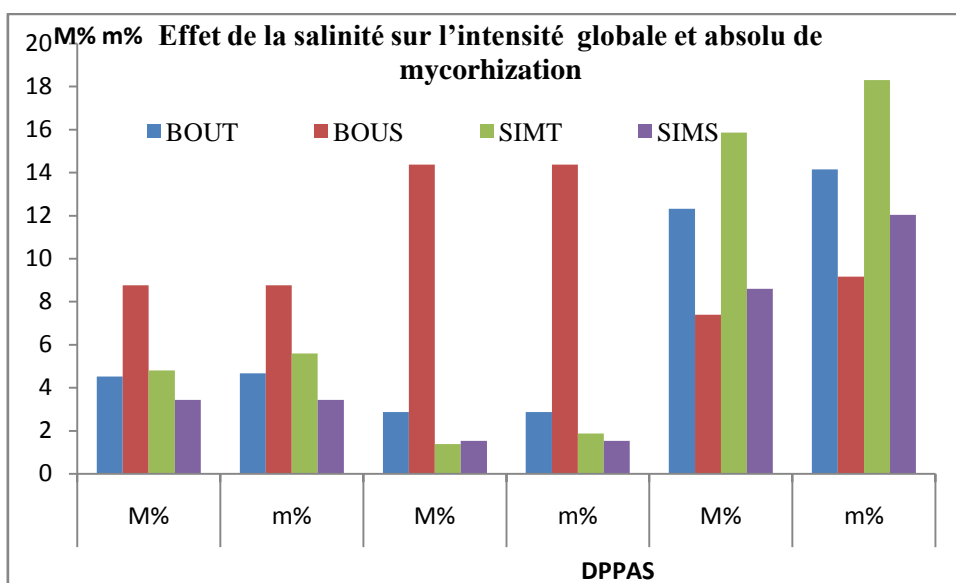


Figure 13. Effet de la salinité sur l'intensité de mycorhization

M % = intensité globale de mycorhization du système racinaire

m % = intensité de mycorhization des fragments mycorhizés (absolu)

DPPAS : Dates de prélèvement des plants après le semis

La comparaison entre les différents stades nous montre que l'intensité globale de mycorhization du système racinaire de la variété Boussalem pour le traitement salé est passée de 8 à 16%, durant les deux premiers stades (30j, 40 j) alors que pour Boussalem témoin, Siméto témoin et Siméto salé, nous observons une diminution significative durant ces mêmes stades, mais après 60jours l'intensité globale de mycorhization de ces derniers traitements a augmenté d'une façon fulgurante.

De même l'intensité de mycorhization absolu (m%), passe de 9% à 15 % entre le stade 30j et 40j pour Boussalem salé, alors qu'elle ne dépasse pas 6% pour Boussalem et Siméto témoin ainsi que Siméto salé. A 60j la m% de ces derniers traitements augmente considérablement pour atteindre 8 à 18% et cela apparait clairement pour la variété Siméto témoin, et diminue considérablement pour la variété Boussalem salé.

III.2.1. 3. Effet de la salinité sur l'intensité arbusculaire globale et absolu

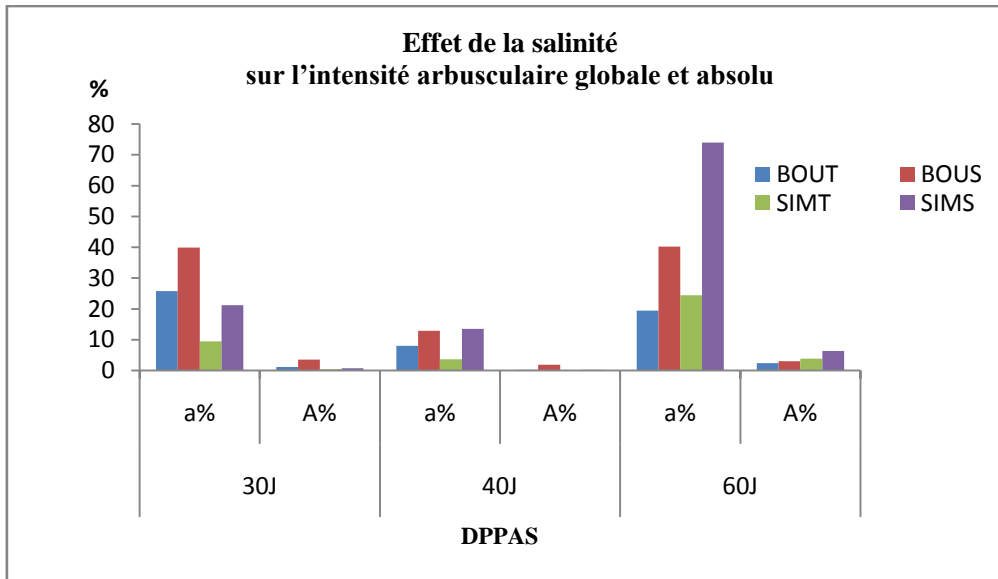


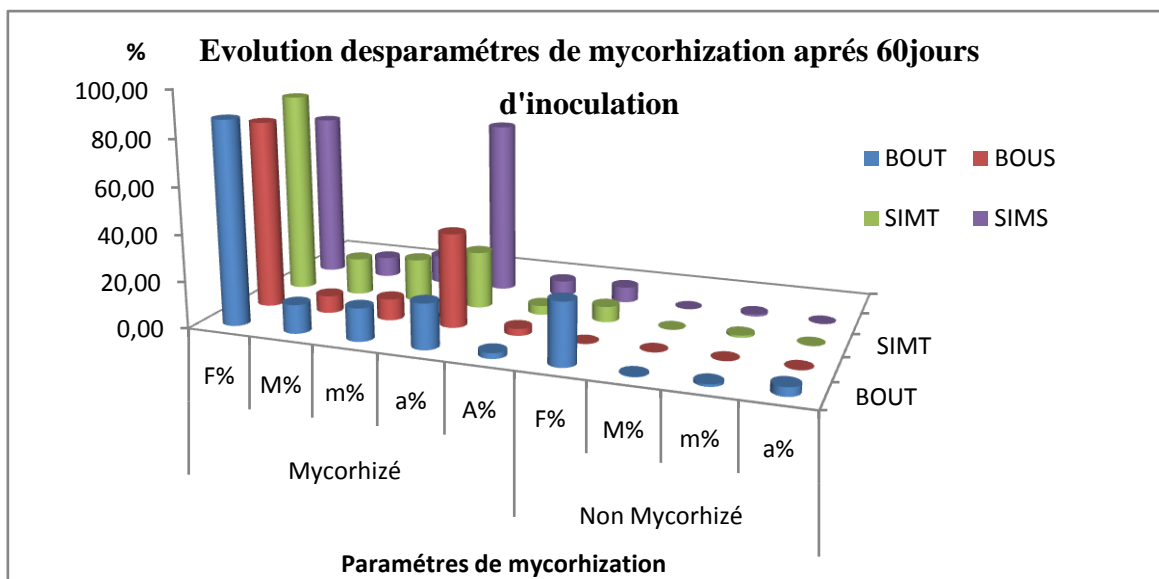
Figure 14. Effet de la salinité sur l'intensité arbusculaire globale et absolu

Durant la période 30j, nous constatons que l'intensité arbusculaire de la partie mycorhizée (a%) a eu un développement assez important pour Boussalem témoin (25%), et Boussalem salé (40%) par rapport à Siméto témoin (10%) et Siméto salé (20%). Mais durant le stade suivant (40j) le a% diminue pour les quatre traitements. Après 60j de traitement, nous observons une reprise considérable de l'intensité arbusculaire de la partie mycorhizée ou elle atteint 75% pour Siméto salé qui surpasse considérablement les autres traitements, Boussalem salé reprend son intensité de départ elle revient à 40%, pour Boussalem témoin elle augmente jusqu'à atteindre les 18%, pour Siméto témoin elle augmente jusqu'à 25%.

En ce qui concerne l'intensité arbusculaire globale du système racinaire (A%), nous observons un très faible développement durant les trois périodes concernées et cela pour les deux variétés.

III.2.2. Etude comparative des paramètres de mycorhization

III.2.2. Evolution des paramètres de mycorhization après 60 jours d'inoculation



La comparaison des paramètres de mycorhization à 60j d'inoculation entre le traitement mycorhizé et non mycorhizé montre une fréquence de mycorhization plus importante chez le traitement mycorhizé qui se traduit par une intensité arbusculaire absolue plus importante que chez les traitements salés, ce qui démontre clairement que les champignons mycorhiziens résistent aux conditions d'un stress salin, à ce stade son impact se manifeste d'une manière plus importante chez la variété Siméto. Cette variété est mycophile tardive, alors que Boussalem est mycophile précoce.

Discussion :

1- Effet de la mycorhization sur les paramètres morphologiques du système racinaire :

Après 60 jours d'inoculation, les résultats montrent que la longueur racinaire, le nombre de racines principales et le poids frais racinaire sont plus élevés chez les plants mycorhizés comparativement à ceux non mycorhizés montrant ainsi un meilleur développement des premiers. Cela peut être dû à une meilleure nutrition hydrique qui permet aux plants mycorhizés de maintenir leur turgescence cellulaire ; l'eau permettant également à la plante de se redresser, de maintenir sa forme, tout en intervenant, entre autres, dans les réactions chimiques par l'hydrolyse.

2- Effet de la salinité sur les paramètres racinaires :

La salinité a eu un effet dépressif sur les deux variétés et cela même en présence de l'inoculum mycorhizien. Cependant, il apparaît que la variété Siméto tolère mieux la salinité que Boussalem, mais elle répond faiblement à la mycorhization. En effet, Boussalem semble être plus mycophile et la mycorhization a atténué l'effet du stress salin.

3- Effet de l'inoculation mycorhizienne sur les paramètres de mycorhization

Les résultats montrent une influence positive de l'inoculation mycorhizienne sur la colonisation racinaire par des CMA. Dans nos conditions expérimentales, les CMA colonisent bien les racines du blé montrant que ces symbiotes survivent dans des conditions de stress salin. La longueur, le poids frais racinaire et nombre de racines ont sensiblement augmenté, même si les systèmes racinaires ont été soumis à un stress salin. Ces résultats sont similaires à ceux effectués sur *l'Acacias seyal* mycorhizé au Sénégal, et sur le maïs (Diop, 2009). Certains auteurs affirment que la salinité peut affecter la capacité de colonisation des racines en diminuant le nombre de vésicules et d'arbuscules et la croissance des hyphes par la réduction du potentiel hydrique du sol (Juniper et Abbott, 1993, Porcel et al, 2011). En outre, sachant qu'il existe une corrélation entre le système racinaire (nutrition hydrominérale) et la partie aérienne, le stress salin tend à diminuer l'intensité de la photosynthèse qui est une fonction fondamentale des végétaux. Par conséquent, il y a une baisse de la production de glucides (éléments de stockage comme l'amidon ou de structure comme la cellulose qui compose les parois cellulaire des végétaux) et d'autres assimilats ce qui se répercute sur les trois paramètres étudiés à savoir la longueur racinaire, le nombre de racines principales et le poids frais racinaire. Egalement, cette réduction de l'activité photosynthétique n'est pas sans incidence sur les champignons mycorhiziens arbusculaires qui ont besoin de glucides pour leur survie.

Cela induit une compétition du champignon avec la plante hôte ce qui conduit à leur affaiblissement réciproque comme c'est le cas de la variété Siméto. Ces résultats sont en concordance avec Mc Mille et al, (1998) qui ont obtenu une réduction de la croissance de la partie racinaire des plantes soumises à un stress salin à une concentration de 8g/L.

Le taux de mycorhization (intensité et fréquence) a augmenté même au dernier stade (60j) surtout pour la variété Boussalem même si les systèmes racinaires de nos plants ont été à

un stress salin. Toute fois, le niveau de colonisation des racines varie d'un traitement à un autre.

Les deux variétés étudiées ont répondu favorablement à la mycorhization, mais Siméto est mycorhizée tardivement alors que Boussalem est mycorhizée précocement, ce qui lui a permis de modifier positivement ses paramètres morphologiques surtout dans les conditions de stress.

Conclusion et perspectives :

L'étude des réponses morphologiques des deux variétés de blé dur (*Triticum durum*) sur la partie racinaire et aérienne (travail réalisé par Mlle OULKACI L. et Mlle Sai .L) , à savoir Boussalem et Siméto, soumises à un stress salin (degré de salinité de 8g/L) en présence d'un inoculum mycorhizien, nous a montré que la mycorhization a eu un effet bénéfique sur les deux variétés concernées en atténuant l'effet de la salinité .

L'expérimentation nous a montré également une différence dans le comportement variétal ; nous avons pu constater que la variété locale Boussalem a répondu favorablement à la mycorhization en condition de stress salin que la variété italienne Siméto. Nous pouvons dire que Boussalem est mycophile par rapport à Siméto.

D'après notre étude il apparait que la mycorhization peut être l'une des solutions biologiques pour les cultures qui subissent différents stress abiotiques, dans notre cas le stress salin.

Cette conclusion est relative à la période de 60 jours, en guise de perspectives il sera intéressant de continuer l'expérimentation jusqu'à 120 jours pour voir l'évolution du comportement de ces deux variétés, allant jusqu'au rendement.

Bibliographie:

Benbrook CM (2012) Glyphosate tolerant crops in the EU: a forecast of impacts on herbicide use. Greenpeace International .

Bonfante, 2001. At the Interface Between Mycorrhizal Fungi and Plants: the Structural Organization of Cell Wall, Plasma Membrane and Cytoskeleton. *The Mycota*. 9: 45-61

CHEHAT F , 2007., Analyse macroéconomique des filières , la filière blés en Algérie .
Projet PAMLIM « Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation » Alger : 7-9 avril 2007. DJERMOUN A., 1995 - La distribution des produits céréaliers en Algérie. Cas des produits finis dans la région de Blida.

Declerck, S., D'Or, D., Cranenbrouck, S., and Leboulengé, E. 2001. Modelling the sporulation dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in monoxenic culture. *Mycorrhiza*, 11: 225–230.

Diop T, Gueye M, Dreyfus B, Planchette C et Strullu DG 1994 Indigenous arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Acacia albida* Del. in different areas of Senegal. *Applied Environmental Microbiology*, 60, 3433-3436.

Drevon J.J., Deransart C., Sifi Irekti H., Payre H., Roy G., Serraj R., 1998. la salinité (NaCl) abaisse la conductance des nodosités de légumineuse à la diffusion de l'oxygène. In: Drevon J.J., (Ed): Facteurs limitant la fixation symbiotique de l'azote dans le bassin Méditerranéen. INRA.

Duponnois R, Garbaye J, Bouchard D et Churin JL 1993 The fungus-specificity of mycorrhization helper bacteria (MHBs) used as an alternative to soil fumigation for ectomycorrhizal inoculation of bare-root Douglasfir planting stocks with *Laccaria laccata*. *Plants & Soil*, 157, 257-262.

FAO. 2000. World fertilizer trends and outlook to 2003. Food and Agriculture Organization of the United Nations. En ligne. <http://www.fao.org/3/a-i4324e.pdf>.

Gianinazzi-Pearson V. & Wipt H.G. (1982). Endomycorrhizae in the tropics. In : "Microbiology of tropical soils and plant productivity", Dommergues Y.R., Diem H.G. (eds)., Martinus Nijhoff, Le Havre, 209-251.

ITGC,2014: Institut Technologique des Grandes Cultures.

Juniper S, Abbott LK. 1993. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and soil salinity. *Mycorrhiza* 4: 45–57.

Keren, R. 2000. Salt-affected soils, reclamation. A review chapter in: “Encyclopedia of Soils in the Environment”. (D. Hillel, ed.). Academic Press. London, UK. (454-461).

Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants, 2nd edn. London: Academic Press.

-McGonigle T.P., Miller M.H. (2000). Influence of soil fumigation and source of strawberry plants on population densities of spores and infective propagules of endogonaceous mycorrhizal fungi. *Plant and soil* 94, 425-434.

MC Mille ,Singh S, Pandey A, Chaurasia B, S.Palni LM (1998) Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with the rhizosphere of tea growing in natural and cultivated ecosites. *Biol. Fertil. Soils* 44: 491-500 .

Munns R (2008) Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ* 16:15–24.

Munzenberg, I., BRODBECK, S. 1992. Response of mycorrhizal Norway spruce seedlings to various nitrogen loads and sources. *Environmental Pollution* 114, 223–233.

Oliveira, V.L., Schmidt, V.D.B. & Bellei, M.M. (1997). Patterns of arbuscular- and ectomycorrhizal colonization of *Eucalyptus dunnii* in southern Brazil. *Annales des Sciences Forestières*, 54: 473-481.

Olsen SR , Moora M, Liira J, Kõljalg U, Zobel M, Sen R. 2003. Divergent arbuscular mycorrhizal fungal communities colonize roots of *Pulsatilla* spp. in boreal Scots pine forest and grassland soils. *New Phytologist* 160: 581–593.

Parniske M. 2008. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature reviews. Microbiology* 6: 763–75.

PETERSON, R.L., H.B. MASSICOTE & L.H. MELVILLE. 2004. Dark septate fungal endophytes. In P.B. CAVERS (ed.), *Mycorrhizas: Anatomy and cell biology*, pp. 145-153. NRC. CNRC, Ottawa.

Plenchette, C., Declerck, S., Diop, T.A., and Strullu, D.G. 1996. Infectivity of monoxenic subcultures of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus versiforme* associated with Ri T-DNA transformed carrot root. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 46: 545–548.

Porcel R, Ruiz-Lozano JM (2011) Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *J Exp Bot* 55:1743–1750. doi:10.1093/jxb/erh188

Sieverding, E., 1991. Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Eschbom. Germany, p. 371.

Smith SE, Read DJ (2008). Mineral nutrition, toxic element accumulation and water relations of arbuscular mycorrhizal plants. In: Smith, S. E and Read. D. J. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd . pp. 145-18. Academic Press, London.

Strullu .,K. Potentiel infectieux mycorrhizogène du sol des parcelles du dispositif Dehérain 1989 ; 75 : 23-9. 121. ARIHARA J, KARASAWA T. Effect of previous crops on arbuscular mycorrhizal formation and growth of succeeding maize. *Soil Sci Plant Nutr* 2000 ; 46-56.

Wang, W.X., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A. (2001). Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Hort* 560: 285-292.

Zhu, Y.-G., Miller, RM. (2003). Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plant systems. *Trends in Plant Sciences*, 8 : 407-409.

Figures : 3,4,5,6 et 7 sont prises de l'ouvrage : Les mycorhizes - L'essor de la nouvelle révolution verte de J.André Fortin.

Source : Carte du Croissant fertile par James Henry Breasted, 1916.<http://www.maxicours.com/soutien-scolaire/histoire/6e/265969.html> (tu le mets dans la bibliographie)

<http://www.intellego.fr/-les-differentes-mycorhizes-schemas-des-symbioses-plant-superieures-champignons/37463>.

Résumé:

Dans le but de connaître les réponses de deux variétés de blé dur l'une locale et l'autre italienne soumises au stress salin et en présence d'un inoculum mycorhizien, nous avons réalisé des expérimentations au laboratoire, en organisant notre travail de la manière suivante : nous avons préparé 40 pots pour chaque variété que nous avons divisés en 4 traitements : 10 témoins non salés et non mycorhizés, 10 témoins salés mycorhizés, 10 témoins non salés et mycorhizés, 10 témoins salés non mycorhizés. Cette façon de procéder nous a permis de faire une étude comparative au sein de chaque variété pour les différents traitements et entre les deux variétés dont le but de connaître l'effet de la mycorhization sur celles-là en condition de salinité, car cela peut être très utile pour pallier au problème de salinité qui touche les zones de culture dans notre pays et ainsi contribuer à l'amélioration de la production locale.