

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

N° : / PV / 2024

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Production végétale

Présenté par :

M^{elle} : MEDJEDOUB Leila

Thème

**Priming des semences : Application des endophytes
sur la culture du blé dur, sous contrainte saline**

Membres de Jury :

Qualité	Nom et prénom	Grade	Structure de rattachement
Président	MAHIOUT Djamel	M.C.A	Univ. Mostaganem
Directeur de mémoire	BOUZOUINA Mohammed	Pr	Univ. Mostaganem
Examineur	HAMZA Lahouaria	M.C.B	Univ. Mostaganem

Année universitaire : 2023 /2024

Dédicaces

Je dédie ce travail

A ma merveilleuse mère *Souad*, qui a toujours cru en moi et m'a encouragé à poursuivre mes rêves. Sans toi, je n'aurais pas acquis la force et la résilience nécessaire pour aboutir à ce stade. Je t'aime maman et j'implore le tout puissant pour qu'elle t'accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse.

A mon cher père *Abed*. Ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours, ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployés pour mon éducation et ma formation.

Que dieu te garde et te protège.

A mon seul frère *Abdelkader* ainsi qu'à mes sœurs adorées *Fatiha* et *Alaa israa* qui sont aussi mes meilleures amies, merci pour m'avoir soutenu constamment, vos humours contagieux et vos présences réconfortantes. Vous êtes ma source de joie et de bonheur, et je suis fière de vous avoir dans ma vie.

A mes deux chères grand-mères, sources infinies d'amour et de sagesse. Merci pour vos prières qui m'ont accompagné tout au long de mon chemin et pour vos bienveillances qui a éclairé ma vie. je vous dédie ce travail en signe de gratitude pour tout ce que m'avez offert. A ma chère amie *Boudergui Amel* celle qui me supporter qui me remonte le morale celle qui entrain de partager avec moi les larmes et les peines.

A mon équipe formidable « *Lokmane, Hassane, Naima et Amina* », merci pour votre collaboration constante et vos efforts qui ont rendu chaque défi plus facile à surmonter. Cet accomplissement est le fruit de notre travail d'équipe et de notre persévérance, et je vous le dédie en reconnaissance de l'esprit de groupe qui nous a unis.

À tous membre de famille *MEDJEDOUB*.

À toute personne qui m'aime et me souhaite la réussite dans la vie et dans les études.

Remerciement

Tout d'abord, je tiens à remercier ALLAH de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail ainsi que la santé tout au long de ces années d'études.

Avant tout, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement du **Pr. BOUZOUINA Mohammed**. Je lui exprime ma profonde gratitude pour son soutien indéfectible, ses conseils avisés, et son encadrement rigoureux tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Ses précieuses recommandations et sa disponibilité ont été essentielles à la réalisation de ce travail. Merci également pour la patience et la bienveillance dont ils ont fait preuve pour l'aboutissement de ce travail.

Au **Dr. Mahiout Djamel**, pour avoir mis à ma disposition tout le nécessaire afin de mener à bien ce travail. Son soutien matériel et moral, ainsi que sa disponibilité ont grandement contribué à la réussite de cette recherche.

A **Mme HAMZA Lahouaria** d'avoir accepté d'apporter ses compétences dans l'évaluation de ce travail.

Nos remerciements s'adressent aussi à nos professeurs de la faculté SNV, université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, spécialité production végétale, qui ont perfectionné nos connaissances théoriques et pratiques durant notre parcours de formation.

Enfin, que tous ceux qui, de loin ou de près, ont participé à la réalisation de ce travail trouvent ici l'expression de nos sincères gratitude.

Résumés

Résumé

La salinité est un facteur majeur limitant la croissance et le développement des céréales, en particulier le blé. Le bio-priming des semences, utilisant des microorganismes halotolérants tels qu'*Aspergillus niger*, représente une alternative prometteuse pour améliorer la germination et la croissance des plantes. Cette technique influence le développement des semences en modulant les activités métaboliques avant l'émergence des racines. L'effet du bio-priming des semences de blé dur (variété Simeto) sous différents niveaux de stress salin (0, 50, 100, 150 et 200 mM NaCl), au stade germination a été évalué. La cinétique et le taux de germination, la longueur des épicotyles et des racicules, ainsi que le nombre de racines ont été mesurés. D'après les résultats, l'impact négatif de la salinité observé sur l'ensemble des paramètres étudiés est surmonté après traitement des graines avec *Aspergillus niger* et leur tolérance se trouve ainsi significativement améliorée. Cette méthode revêt une importance capitale pour protéger les plantes contre les effets délétères du stress salin et garantir à la fois la sécurité alimentaire, la préservation de l'environnement et la rentabilité agricole.

Mots clés : Biopriming, *Aspergillus niger*, Blé dur, Germination, Croissance, Salinité, Tolérance.

Abstract

Salinity is a major factor limiting the growth and development of cereals, particularly wheat. Seed bio-priming, using halotolerant microorganisms such as *Aspergillus niger*, represents a promising alternative for improving plant germination and growth. This technique influences seed development by modulating metabolic activities prior to root emergence. The effect of bio priming durum wheat seeds (Simeto variety) under different levels of salt stress (0, 50, 100, 150 and 200 mM NaCl) at the germination stage was evaluated. Germination kinetics and rate, epicotyl and radicle length, and root number were measured. According to the results, the negative impact of salinity observed on all the parameters studied was overcome after treatment of the seeds with *Aspergillus niger*, thus significantly improving their tolerance. This method is of vital importance for protecting plants against the deleterious effects of salt stress, and for guaranteeing food safety, environmental protection and agricultural profitability.

Key words: Biopriming, *Aspergillus niger*, Durum wheat, Germination, Growth, Salinity, Tolerance.

تعتبر الملوحة عاملاً رئيسياً يحد من نمو الحبوب وتطورها، وخاصة القمح. ويمثل التهيئة الحيوية للبذور، باستخدام كائنات دقيقة متحملة للملوحة مثل *Aspergillus niger* بديلاً واعداً لتحسين إنبات النبات ونموه. وتؤثر هذه التقنية على نمو البذور من خلال تعديل الأنشطة الأيضية قبل ظهور الجذور. تم تقييم تأثير التهيئة الحيوية لبذور القمح الصلب صنف (SIMETO) تحت مستويات مختلفة من الإجهاد الملحي (0، 50، 100، 150، 200 mM) في مرحلة الإنبات. تم قياس حركية ومعدل الإنبات، وطول النباتات والجذور وعدد الجذور. ووفقاً للنتائج، تم التغلب على التأثير السلبي للملوحة الذي لوحظ على جميع المعلومات المدروسة بعد معالجة البذور بـ *Aspergillus niger* مما أدى إلى تحسين قدرتها على التحمل بشكل كبير. هذه الطريقة ذات أهمية حيوية لحماية النباتات من الآثار الضارة للإجهاد الملحي وضمان سلامة الأغذية وحماية البيئة والربحية الزراعية.

الكلمات المفتاحية: التطعيم الحيوي، *Aspergillus niger*، القمح الصلب، الإنبات، النمو، الملوحة، التحمل.

Table des matières

Introduction	1
Synthèse bibliographique	3
Chapitre I : Priming et champignon endophyte	3
I.1. Priming (ou traitement pré germinatif des semences).....	3
I.1.1. Historique et définition	3
I.1.2. Les bienfaits du priming	3
I.1.3. Différents Types du Priming (amorçage des semences)	4
1.L'hydro priming	4
2.Osmo priming	4
3.Priming chimique	5
4.Priming hormonal	5
5. Bio-priming	5
1.1.5. Effet du priming	6
✓ Sur la germination	6
✓ Sur la respiration.....	7
✓ Sur les protéines.....	8
✓ Sur Les enzymes	8
✓ Sur les osmolytes	8
I.2. Champignon endophyte.....	8
I.2.1. Généralité.....	8
I.2.2. Diversité des champignons endophytes.....	9
I.2.3. Classification des champignons endophytes	10
I.2.3.1 Endophytes classe 1	10
I.2.3.2. Endophytes non-Clavicipitacées (NC-endophytes): classes 2, 3 et 4.....	10
I.2.3.3. Endophytes de la classe 2	10
I.2.3.4. Endophytes de la classe 3	11
I.2.3.5. Endophytes de la classe 4	12
I.2.4. Modes de reproduction et de transmission des champignons endophytes	12
➤ Transmission verticale	13
➤ Transmission horizontale.....	13
I.2.5. Rôle et importance des champignons endophytes	14
I.2.5.1. Rôle physiologique	14
I.2.5.2. Protection contre les microorganismes pathogènes.....	15

I.2.5.3. Protection contre les insectes et les ravageurs	15
I.2.5.4. Tolérance des plantes aux stress abiotiques	16
Chapitre II : La salinité	17
Introduction	17
II.1. Répartition des sols salés	17
II.1.1 Dans le monde	17
II.1.2. En Algérie	18
II.2. Effets de la salinité sur le sol et sur la plante	21
II.2.1. Effet de la salinité sur les propriétés des sols	21
II.2.1.1 Effets sur les propriétés physiques	21
II.2.1.2. Effets sur les propriétés chimiques	21
II.2.2. Effet de la salinité sur les plantes	21
II.2.2.1. Les mécanismes touchés par la salinité	21
II.2.2.2. Effet de la salinité sur la germination et la levée	21
II.2.2.3 Effet de la salinité sur la croissance et le développement	22
II.2.2.4. Effet de la salinité sur la photosynthèse	23
II.2.2.5. Effet de la salinité sur l'état hydrique de la plante	24
II.3. Mécanismes de tolérance des plantes à la salinité	25
II.3.1. Inclusion et compartimentation des ions	25
II.3.2. Exclusion	26
II.3.3. L'excrétion	27
II.3.4. L'Ajustement osmotique	27
Chapitre III : Le blé	29
Généralité	29
III.1. Le blé dur	29
III.1.1. Classification de blé dur	29
III.1.2. Biologie et cycle de développement	30
III.1.2.1. Morphologie et Structure du grain de blé dur	30
III.1.2.2 Composition chimique de grain de blé	31
III.1.2.3. Appareil végétatif	31
III.1.2.4. Appareil reproducteur	32
III.1.2.5. Cycle de développement	32
III.1.2.5.1. La période végétative	33
III.1.2.5.2. La période reproductive	33

III .1.3. Importance du blé dur	34
➤ Dans le monde	34
➤ En Algérie	35
Etude expérimentale	37
Objectif et conduite de l'essai	37
I. Matériels et méthodes.....	37
I.1. Matériels.....	37
I.1.1 Matériel végétal	37
I.1.2. Matériel fongique	37
I.1.2.1. Identification morphologique	37
➤ Critères d'identification macroscopique.....	37
➤ Critères d'identification microscopique	38
I.2. Méthodes	39
I.2.1. Préparation des cultures mycéliennes.....	39
I.2.2. Préparation de la suspension sporale	39
I.2.3. Préparation de la conccention de 10^6 spores/ml	39
I.2.4. Application du traitement pré germinatif (endurcissement ou amorçage)	39
Préparation des solutions salines	39
Traitement à une seule hydratation (Bio priming)	40
I.3.4. Mise en germination des semences	40
I.3.5. Paramètres suivis	41
1. Cinétique de germination	41
2. Taux de germination	41
3. Longueurs des radicules et des coléoptiles	42
4. Nombre des racines.....	42
I.3.6. Analyses statistiques	42
II. Résultats et discussion	43
II.1. Résultats	43
II.1.1. Cinétique de la germination	43
II.1.2. Taux de germination final	44
II.1.3. Longueur de la coléoptile	45
II.1.4. Longueur de la radicule	46
II.1.5. Nombre de racines totales	48
Discussion.....	50

Conclusion.....	54
Références bibliographiques	55

Liste des abréviations

FAO: Food and Agriculture Organization

ITGC: Institut Technique des Grandes Cultures

PDA : Potato Dextrose Agar

PDB: Potato Dextrose Broth

CCLS: Coopérative des Céréales et des Légumes secs

Liste des figures

Figure 1: Courbes d'hydratation des semences et phases de germination des semences traitées et non traitées (Lutts et al., 2006).....	7
Figure 2 : Représentation schématique de l'association des champignons endophytes avec leurs plantes hotes (Andéol et Benjamin, 2016)	12
Figure 3 : Cycle de vie des endophytes (Saikkonen et al., 2004).Cycle de vie des endophytes (Saikkonen et al., 2004).....	14
Figure 4: Role de l'acide indole acétique dans l'amélioration de la croissance végétale (Khan et al.,2009).....	15
Figure 5: Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes incluser ou excluser (Levigneron et al., 1995).	27
Figure 6: Structure du grain de blé (Surget et Barron, 2005).....	31
Figure 7: Le cycle de développement du blé (Lemekeddem et al., 2014).	34
Figure 8: Marché mondial du blé (USDA, 2023).	35
Figure 9: Aspect de la colonie du champignon <i>Aspergillus niger</i> (Photo originale, 2024). ...	38
Figure 10: <i>Aspergillus niger</i> , vu au microscope photonique X 40 (Photo originale, 2024). ..	38
Figure 11 : Dispositif expérimental I: Germination du blé dur.....	41
Figure 12: La cinétique de la germination du blé dur (%), variété SIMETO, sous l'effet de différentes concentrations de Na Cl (0mM, 50mM ,100 mM, 150 mM et 200 mM), en présence (AC) et en absence (Sc) du champignon endophyte (<i>Aspergillus niger</i>).....	44
Figure 13: Taux de la germination du blé dur (%), variété SIMETO, sous l'effet de différentes concentrations de Na Cl (0mM, 50mM, 100mM, 150mM et 200mM), en présence (AC) et en absence (SC) du champignon endophyte (<i>Aspergillus niger</i>).....	45
Figure 14: Longueur de la coléoptile de blé dur (cm), variété SIMETO, sous l'effet de différentes concentrations de Na Cl (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM et 200 mM) en présence (AC) et en absence (SC) du champignon endophyte (<i>Aspergillus niger</i>).....	46
Figure 15: Longueur de la radicule de blé dur (cm), variété SIMETO, sous l'effet de différentes concentrations de NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM et 200 mM), en présence (AC) et en absence (SC) du champignon endophyte (<i>Aspergillus niger</i>).....	48
Figure 16: Nombre des racines de blé dur, variété SIMETO, sous l'effet de différentes concentrations de Na cl (0 mM, 50mM, 100 mM, 150 mM et 200 mM) en présence (AC) et aen Absence (SC) du champignon endophytes (<i>Aspergillus niger</i>).....	49

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification des endophytes fongique (Rodriguez et al., 2009).....	11
Tableau 2 : Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO.,2008).	18
Tableau 3 : Classement des wilayas touchées par la salinité en fonction du pourcentage de la surface agricole utile S.A.U (Benzellat., 2013).....	20
Tableau 4 : Composition chimique de grain de blé (Feilliet, 2000).	31
Tableau 5 : Principales caractéristiques du génotype SIMETO.	37

Introduction

Introduction

Le sol est la première ressource pour la vie de la planète, toutes les sociétés humaines ont utilisé ou utilisent le sol pour la production alimentaire, support des activités humaines, source de minerais et de matériaux de construction, système épurateur, réserve d'eau... le sol est un élément vital et fondamental pour l'humanité (Clément Mathieu, 2020). Il est donc essentiel à la vie et fait partie du quotidien des hommes. Il subit en plus des pressions et des dégradations, tels que l'érosion, la pollution et la salinisation.

La salinité est l'un des plus grands problèmes, dans les environnements arides et semi arides du monde (Navarro et al., 2007). L'effet négatif de la forte salinité peut être observé au niveau de toute la plante comme la mort de la plante et /ou la diminution de la productivité. Beaucoup de plantes développent des mécanismes soit pour exclure le sel de leurs cellules ou pour tolérer sa présence dans les cellules (Parida et al., 2005).

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes. Chez les céréales, l'effet dépressif du sel se manifeste à partir d'un seuil critique de concentration caractéristique de l'espèce ou de la variété (Epstein&al., 1980 ; Kingsbury& al., 1984 ; Cramer& al., 1994 ; Bounaqba, 1998). Parmi ces céréales, le blé occupe une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale.

D'après Cheng et al. (1999), la germination des graines constitue une phase cruciale dans le cycle de vie des plantes supérieures, ayant un lien direct avec la production agricole et l'obtention de cultures de qualité. Toutefois, la germination reste inégale, car les graines ne germent pas toutes de manière uniforme ou au même moment.

En Algérie, le manque d'eau et les sécheresses prolongées ne permettent pas l'utilisation des moyens classiques de désalinisation comme le drainage, de plus le coût de leur installation et leur entretien sont assez coûteux. Différentes approches ont été étudiées depuis plusieurs années afin de résoudre ces problèmes et d'améliorer la croissance et le rendement des plantes (Basra et al., 2003). Une des méthodes les plus couramment utilisées est le "priming", aussi connu sous le nom d'amorçage ou d'endurcissement. Il s'agit d'une approche physiologique qui favorise la production végétale en régulant les processus métaboliques liés à la germination, avant l'émergence de la radicule (Bradford, 1986 ; Taylor et al., 1990), c'est-à-dire pendant la phase réversible de la germination. Pendant cette période, il est possible de réhydrater la graine sans compromettre sa capacité de germination (Mazliak, 1998). Ce procédé est abordable et évite l'emploi de substances chimiques susceptibles de causer des dommages à l'environnement et à la santé humaine.

Introduction

Parmi les plusieurs techniques de priming, l'utilisation de moyens biologiques constituent une alternative moins couteuse et certainement plus efficace surtout pour des zones arides et semi-arides (Shrivastava and Kumar, 2015). Le bio-priming consiste à traiter les semences avec des champignons endophytes pour renforcer ainsi leur résistance au stress environnemental, améliorer l'absorption des nutriments et activer les mécanismes de défense des plantes.

Cette technique permet également une gestion plus efficace des nutriments. Ainsi, le bio-amorçage des semences est une technologie durable pour améliorer la croissance, la nutrition et la durabilité des agro écosystèmes.

Dans le cadre des recherches multiples sur l'amélioration de la tolérance du blé aux contraintes salines, l'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de bio priming sur quelques paramètres de la germination d'une variété de blé dur sous différents niveaux de stress salin.

Dans l'optique de la valorisation des terres salées et l'amélioration du pouvoir germinatif des plantes cultivées, notre étude a été orientée, et a pour objectif de:

✓ Evaluer l'effet de bio priming sur quelques paramètres de la germination de blé dur, variété simeto, sous différents niveaux de stress salin.

Le présent mémoire est structuré en deux grandes parties :

✓ La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique, elle est composée de trois chapitres:

- Chapitres 1: Priming et champignon endophyte ;
- Chapitre 2: la salinité ;
- Chapitre 3 : le blé.

✓ La deuxième partie est la partie expérimentale, elle est formée de deux chapitres:

- Chapitre 1: Matériel et méthodes.
- Chapitre 2: Résultats et discussion.

Cette étude se termine par une conclusion comprenant un certain nombre de recommandations, tout en mettant en valeur les résultats les plus pertinents.

Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Priming et champignon endophyte

Chapitre I : Priming et champignon endophyte

I.1. Priming (ou traitement pré germinatif des semences)

I.1.1. Historique et définition

Les travaux de Heydecker et al. (1973) ont été les premiers à utiliser des solutions osmotiques pour améliorer les performances de germination des semences. À la fin des années 1970, les mots « conditionnement osmotique » ou « osmo-conditionnement » ont été ajoutés pour remplacer « amorçage ». Selon Khan et al. (1978), ces nouveaux termes ont évité toute confusion avec l'utilisation de fragments d'ADN pour la synthèse. Bien qu'il y ait un risque de confusion, l'amorçage des semences est devenu un terme, aujourd'hui, largement utilisé dans le commerce des semences, et les termes « conditionnement osmotique » et « amorçage osmotique » sont répandus. Il est souvent utilisé le mot « amorçage osmotique » pour désigner cette technique par rapport aux autres technologies d'amorçage développées depuis l'adoption initiale du terme (Bradford, 1986).

Le priming représente un processus pré-germinatif qui exploite des techniques physiologiques afin d'améliorer la production végétale en régulant les processus métaboliques de la germination avant l'émergence de la radicule (Bradford, 1986 ; Taylor et Harman, 1990). Donc, durant la période réversible de la germination, la semence peut retrouver son état initial sans dommages (Bayard, 1991). Au cours du priming, les semences sont hydratées partiellement à un niveau d'humidité suffisant pour permettre le déroulement des processus métaboliques pré germinatifs, mais insuffisant pour assurer la percée de la radicule (McDonald, 2000; Ghassemi-Golezani et al., 2010 ; Boucelha et Djebbar, 2015 ; Boucelha et al., 2019).

I.1.2. Les bienfaits du priming

Les semences sont préparées pour une meilleure implantation et une germination homogène. Grâce à une levée homogène, il est possible d'améliorer l'efficacité de la récolte et d'accroître le rendement des cultures. Les semences sont améliorées en ce qui concerne leurs performances, comme le temps de germination, l'indice de germination, la vigueur et la dormance (Guergueb, 2023). L'amorçage a aussi été employé afin d'éliminer ou de diminuer considérablement la présence de champignons et de bactéries dans les graines (Bradford, 1986 ; Khan, 1992 ; Taylor et al., 1998).

I.1.3. Différents Types du Priming (amorçage des semences)

Les techniques de Priming (amorçage) des semences comprennent généralement plusieurs catégories basées sur le choix des substances de priming, à savoir hydro-priming, osmo-priming, hormo-priming, ChimioPriming, bio-priming et thermo-priming (Farooq et al., 2007; Chen, 2011). Néanmoins, l'efficacité de la technique de Priming des semences dépend largement des espèces/génotypes de plantes, des paramètres morphologiques et physiologiques des semences ainsi que de la technique de Priming des semences. Le Priming est couramment utilisé pour traiter de nombreuses cultures horticoles, principalement des légumes et des fleurs, mais l'utilisation à grande échelle de l'amorçage des céréales ou d'autres cultures de plein champ est limitée (Murungu et al., 2004).

1. L'hydro priming

➤ Hydro priming simple

Il s'agit de la méthode la plus facile de traitement pré germinatif, qui implique d'imbiber les semences puis de les redéshydrater avant de les semer (Tarquis et Bradford, 1992).

Cette méthode est peu coûteuse et évite l'utilisation de produits chimiques potentiellement nuisibles pour l'environnement (McDonald, 2000; Ghassemi-Golezani et al., 2010).

➤ Hydro priming double

Les semences sont soumises à deux cycles d'hydratation et de redéshydratation lors du double hydropriming, une technique innovante utilisée par Boucelha et Djebbar (2015). Chez *Vigna unguiculata*, ce nouveau traitement apporte une amélioration notable des performances germinatives, de la croissance et de la tolérance aux stress (Boucelha et Djebbar, 2015 ; Boucelha, 2015 ; Boucelha et al., 2019).

2. Osmo priming

Le traitement pré germinatif osmotique est le plus fréquemment utilisé pour préparer les semences, soit seul, soit suivi d'une redéshydratation. On effectue cette hydratation contrôlée des semences en utilisant des agents osmotisants tels que le polyéthylène glycol (PEG), les sels (KNO_3 , NaCl, KCl) ou les polyols (mannitol) (Bradford, 1986 ; Yari et al., 2010). Les grains osmo-conditionnés ont une croissance accélérée, ce qui se traduit par un taux final d'implantation plus élevé, avec parfois des effets bénéfiques sur le rendement (Bradford, 1986 ; Boucelha et Djebbar, 2015).

3. Priming chimique

Ce genre de procédé implique d'injecter les graines dans des solutions contenant des composés chimiques pendant des périodes différentes et à des concentrations précises. Grâce à ce processus, certaines voies de signalisation sont activées, ce qui améliore les performances génératives. L'amélioration est possible grâce à l'implication du Ca_2^+ après incubation en présence de CaCl_2 et grâce au nitroprussiate de sodium pour l'implication du NO.

4. Priming hormonal

Le traitement hormonal préliminaire est une méthode d'initiation visant à stimuler la germination des graines dans des conditions stressantes (Atici et al., 2003 ; Gratão et al., 2005 ; Massoud et al., 2012; Hu et al., 2013; Jisha et al., 2013). Selon Ansari et al. (2013), des graines de seigle (*Secale montanum*) traitées avec de l'acide gibbérellique (GA_3) ont montré une augmentation de la germination en présence de stress hydrique.

5. Bio-priming

Selon Reddy (2012), le bio-priming est une méthode de traitement des semences novatrice qui associe des éléments biologiques (inoculation des semences avec des organismes bénéfiques pour leur protection) et physiologiques (hydratation des semences).

En cas d'infection ou de contamination des semences par des agents pathogènes, la prolifération fongique peut augmenter pendant la préparation, ce qui peut avoir des conséquences néfastes sur les plantes. Ainsi, l'amorçage des semences a été employé, soit seul, soit en combinaison avec une faible dose de fongicide ou d'agents de lutte biologique, afin d'améliorer la vitesse et l'uniformité de l'apparition des semences et de diminuer les maladies qui causent la fonte des semis.

I.1.4. Aspects physiologiques et biochimiques du Priming

Les effets bénéfiques du priming sont liés à plusieurs changements physiologiques, biochimiques, cellulaires, moléculaires et génétiques. Il est possible que certaines répercussions du priming soient causées par la méthylation de l'ADN ou la structure spatiale de la chromatine (Boucelha et al., 2019). De cette façon, les phénomènes épigénétiques jouent un rôle essentiel dans la compréhension de nombreux phénomènes en biologie des plantes ; ils jouent un rôle crucial dans l'adaptation des plantes à leur environnement (Hebrard, 2012). Le développement et l'exposition au stress influencent ces modifications épigénétiques, ce qui entraîne une meilleure efficacité du mécanisme de défense (Bruce et al., 2007 ; Tanou et al., 2012).

L'osmopriming a été prouvé pour stimuler les processus liés au cycle cellulaire. Par exemple, chez les graines de seigle sauvage (*Leymus chinensis*), une exposition à 30% de PEG pendant 24 heures a entraîné une augmentation de l'activité de la superoxyde dismutase (SOD) et de la peroxydase (POD), ainsi que de l'intensité respiratoire, ce qui a favorisé l'arrivée de germes (Jie et al., 2002). La stimulation par l'osmopriming peut aussi encourager une germination rapide en diminuant la contrainte mécanique de l'endosperme sur l'embryon en croissance (Mayer et Mayber, 1989). Lors de l'osmopriming des graines de tomate, l'activité de l'endo-bêta-mannase dans le tégument de l'endosperme augmentait, ce qui réduisait la contrainte mécanique sur l'embryon en germination (Toorop et al., 1998).

Le pourcentage d'émergence, le taux d'émergence, la longueur des racines et la vigueur des graines ont été considérablement augmentés dans tous les cultivars d'Amarante lors de l'amorçage des graines. Parmi les cultivars, le cultivar Trigin a été le plus efficace. L'osmopriming a également considérablement augmenté la protéine totale de la graine, la POD et la PPO. Les deux cultivars Almont et Plainsman ont montré une forte concentration en protéines et une activité POD élevée. Les cultivars Almont, Plainsman et Mercado ont connu une augmentation de leur activité PPO après l'osmopriming, tandis que le cultivar Trigin n'a pas connu d'augmentation. Selon Moosavi et al. (2009), le cultivar Mercado a connu une augmentation significative de l'activité de la PPO.

1.1.5. Effet du priming

✓ Sur la germination

L'amorçage a été démontré par toutes les recherches sur l'endurcissement comme une méthode efficace pour améliorer les performances germinatives, en produisant des cultures uniformes et homogènes (Abebe et Modi, 2009 ; Ghassemi-Golezani et al., 2010).

De nombreux chercheurs ont expliqué cette germination rapide et synchronisée en activant les processus pré-germinatifs, ce qui entraîne des changements biochimiques quantitatifs et qualitatifs au cours de la semaine (Varier et al., 2010 ; Maroufi et al., 2011), telles que la réparation des membranes et la production d'acides nucléiques (ADN et ARN) (Jowkar et al., 2012), une synthèse et une activation élevées des enzymes impliquées dans la dégradation et la mobilisation des réserves (Varier et al., 2010 ; Wattanakulpakin et al., 2012), ainsi qu'une activation de l'endo-bêta-mannase, qui est l'enzyme qui permet de libérer la dormance (Varier et al., 2010).

Des études antérieures ont bien montré que l'endurcissement permet la levée de la dormance des semences par l'activation de l'endo- β -mannase, l'enzyme responsable de la synthèse de l'éthylène. Cette hormone favorise également la dégradation de l'albumen, facilitant ainsi la levée de la dormance (Still et Bradford, 1997 ; Toorop et al., 1998)(Fig.1).

Des auteurs ont supposé que l'osmopriming aide à libérer l'éthylène au sein des tissus de l'embryon recouvert par l'endosperme et cela serait suffisant.

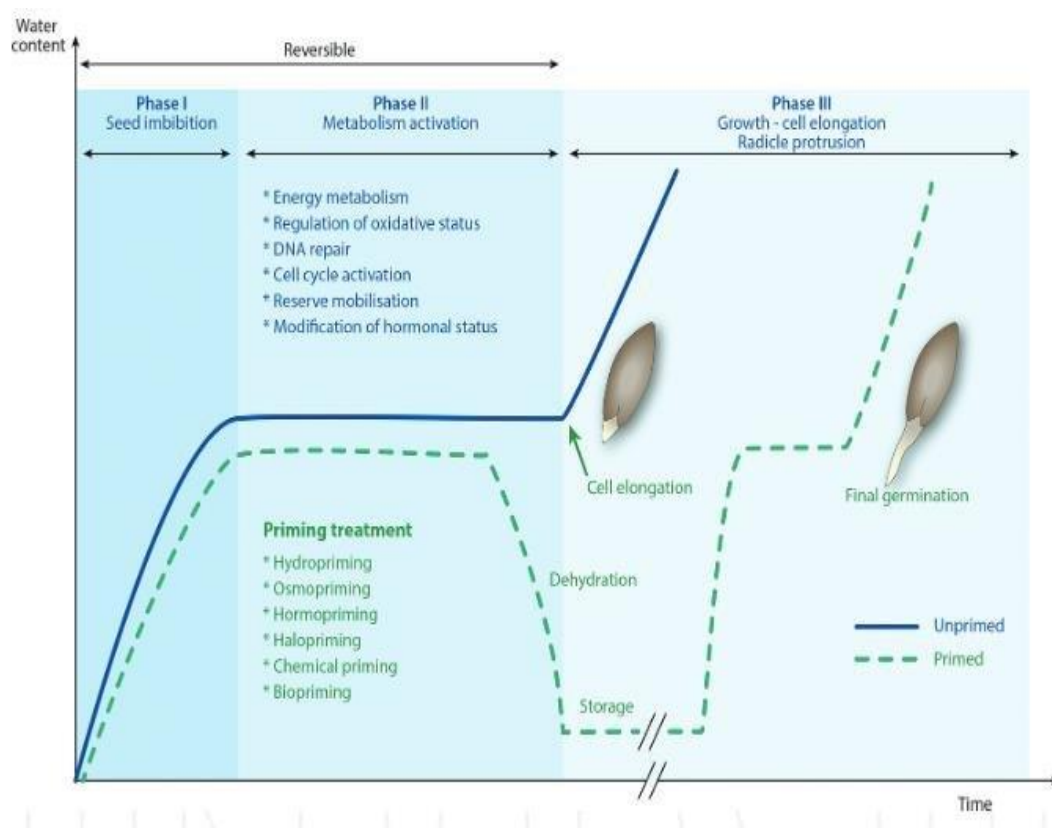


Figure 1: Courbes d'hydratation des semences et phases de germination des semences traitées et non traitées (Lutts et al., 2006).

✓ Sur la respiration

L'hydropriming et l'osmopriming par le PEG provoquent une modification importante de l'activité respiratoire chez certaines espèces, avec une augmentation significative du nombre de mitochondries, de la quantité d'adénosine triphosphate (ATP), de la charge énergétique et du rapport ATP/ADP dans les tissus embryonnaires des graines traitées (Corbineau et al., 2000).

✓ Sur les protéines

La stimulation de la synthèse des protéines est favorisée par l'amélioration de la machinerie de production (Varier et al., 2010).

✓ Sur Les enzymes

D'après Fu et al. (1988), les semences endurecies produisent une synthèse et une activation enzymatiques intenses, dont les produits (éléments nutritifs) seront utilisés lors de la germination. Ces enzymes participent à la décomposition des réserves protéiques (protéases), des réserves glucidiques (α et β amylases) et des réserves lipidiques (iso citrate lyase).

✓ Sur les osmolytes

Physiologiquement, les traitements pré-germinatifs font l'augmentation de la teneur en proline libre corrélée avec une forte expression de deux gènes et à des niveaux élevés de l'ARNm correspond à l'activité des enzymes impliquées dans la synthèse de la proline (Gelormini, 1999).

I.2. Champignon endophyte**I.2.1. Généralités**

Selon Petrini (1991), la définition la plus courante des endophytes consiste à les décrire comme des micro-organismes qui résident dans les tissus internes des plantes à un certain moment de leur cycle de vie, et qui ont la capacité de coloniser ces tissus sans causer de dommages visibles à leur hôte (Hyde et Soyong, 2008). D'après Jalgaonwala et al. (2010), le terme endophyte est dérivé du grec, où « endo » signifie « intérieur » et « phyton » signifie « plante ». Selon Debray en 1866, le mot "endophyte" a été employé pour décrire les champignons qui se trouvent à l'intérieur des tissus végétaux des tiges et des feuilles (Morricca et Ragazzi, 2008 ; Mansouri, 2011). Le concept d'endophyte englobe différentes formes de bactéries, d'algues et de champignons (Surendra et al., 2011).

Les champignons sont les microorganismes les plus fréquemment isolés en tant qu'endophytes (kouadria, 2019). Il s'agit de champignons qui peuvent se développer à l'intérieur et/ou à l'extérieur des cellules des plantes, sous la couche des cellules épidermiques. Ils résident sans symptômes dans le tissu interne des plantes (Morricca et Ragazzi, 2008 ; Vega et al., 2008 ; Pimentel et al., 2011).

Les champignons colonisent profondément les racines et, par leur capacité à se développer sans symptômes dans les tissus des plantes, établissent des relations de mutualisme et de symbiose avec la plupart des espèces de plantes terrestres. La présence de cette symbiose favorise la prolifération des mycoses et leur croissance, ce qui renforce l'efficacité dans la lutte contre de nombreuses maladies racinaires (Waller et al., 2005 ; St-Arnaud et Vujanovic, 2007). Toutefois, leur diversité laisse entendre qu'ils peuvent aussi jouer le rôle de saprophytes ou de pathogènes opportunistes (Strobel et al., 2004).

I.2.2. Diversité des champignons endophytes

Les champignons endophytes représentent un groupe très diversifié avec une estimation de 1,5 millions espèces et une moyenne d'environ 50 d'espèces d'endophytes par une espèce de plante (Zabalgogea, 2008).

La majorité des champignons endophytes sont classés dans l'embranchement des Ascomycota, mais certains appartiennent également à d'autres groupes taxonomiques tels que les Deuteromycota, Basidiomycota, Zygomycota et Oomycota. Ils colonisent diverses plantes, y compris les palmiers, les graminées et même les lichens (Frohlich et al., 2000 ; Oses et al., 2008), et sont présents dans les forêts tropicales, tempérées et boréales (kouadria, 2019).

En 2007, il a été constaté que plus de 90% des espèces de champignons endophytes sont inconnues (Shipunov et al., 2008) et que seulement 80 000 à 100 000 espèces ont été décrites (Huang et al., 2008).

Plusieurs facteurs influencent la diversité des champignons endophytes à savoir ;

-Les variations géographiques : Les taxons isolés de la même espèce hôte ont tendance à changer d'un endroit à un autre.

-Les variations géo-climatiques : Les assemblages endophytes semblent être plus riches dans les zones tropicales que dans les zones tempérées ou froides du monde.

-L'âge de la plante a également un effet sur la diversité ; Les parties de plantes plus anciennes peuvent héberger plus d'endophytes que les plantes plus jeunes (Zabalgogea, 2008).

I.2.3. Classification des champignons endophytes

Les champignons endophytes représentent un groupe écologique et taxonomique extrêmement diversifié, Ils peuvent être classés dans deux grands groupes: les endophytes associés aux Graminées, dits Clavicipitaléens (clavicipitalean) ou Balansiacées (balansiaceous), selon les auteurs, et ceux associés aux autres plantes, les non-Clavicipitaléens ou non-Balansiacées (Schulz & Boyle, 2005; Hyde & Soyong, 2008). Les endophytes sont actuellement divisés en 4 classes (Rodriguez et al., 2009), selon la famille de l'endophyte concerné, la localisation dans les tissus de l'hôte (Fig.2) et le mode de transmission.

I.2.3.1 Endophytes classe 1

Selon Sung et al., 2007, l'ordre des Ascomycota comprend 37 genres de champignons de la famille des Clavicipitaceae. Ces endophytes, originaires de la famille des Clavicipitaceae, sont des champignons qui s'attaquent à un groupe limité d'hôtes, se limitant aux plantes herbacées des poaceae, des Juncaceae et des Cyperaceae (Clay et al., 2002).

I.2.3.2. Endophytes non-Clavicipitacées (NC-endophytes): classes 2, 3 et 4

Les endophytes des catégories 2, 3 et 4 sont encore très peu connus jusqu'à présent. Ils sont généralement perçus comme avantageux pour l'hôte en cas de stress non biotique. Selon Rodriguez et al. (2009), ils ont démontré leur aptitude à stimuler l'absorption des nutriments, à améliorer la croissance et le rendement des plantes hôtes. Selon Harman (2000), certains endophytes génèrent des substances antifongiques et antibactériennes qui permettent de protéger l'hôte contre les phytopathogènes et d'accroître sa survie.

I.2.3.3. Endophytes de la classe 2

Selon Rodriguez et al. (2009), les endophytes de classe 2 sont principalement des Ascomycètes (Pezizomycotina seulement), mais ils incluent également quelques représentants des Basidiomycètes (Agaricomycotina, Pucciniomycotina).

Les champignons endophytes de deuxième classe possèdent une variété d'hôtes. Ils ont la capacité de coloniser toutes les parties de la plante et de se développer considérablement dans le milieu intercellulaire principalement (Arnold, 2009). Le flux est généralement vertical, mais il peut parfois y avoir un flux horizontal, notamment lorsque l'hôte est en sénescence : le champignon sort de l'hôte et sporule. Selon Hodgson (2014), certains de ces endophytes sont également saprophytes et peuvent s'installer dans le sol. Dans le cadre de leur mutualisme, ils se distinguent par leur offre d'avantages à l'hôte qualifiés d'« habitats adaptés ».

Selon Sung (2007), cela implique qu'ils offrent à l'hôte un bénéfice lié à une particularité de l'environnement qui favorise le stress.

Il est intéressant de remarquer que les endophytes de classe 2 sont fréquemment cultivables et peuvent se développer dans différents environnements de culture (Rodriguez et al., 2009)(Tab.1).

Tableau 1: Classification des endophytes fongique (Rodriguez et al., 2009).

Critères	Clavicipitacées	Non-Clavicipitacées		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Gammed'hôtes	Etroit	Vaste	Vaste	Vaste
Tissus colonisé	Tiges, racines et rhizomes	Tiges, racines et Rhizomes	Tiges	Racines
Colonisation des plantes	Extensive	Extensive	Limitée	Extensive
Transmission	V/H	V/H	H	H
Bénéfice physique	NAH	NAH/AH	NAH	NAH

*Non adapté à l'habitat (NAH) : des avantages tels que la tolérance à la sécheresse et l'accélération de la croissance sont courants chez les endophytes, quel que soit leur habitat d'origine.

*Adapté à l'habitat (AH) : les avantages résultent de pressions de sélection spécifiques à l'habitat telles que le pH, la température et la salinité.

*(V) : verticale.

*(H) : horizontale.

I.2.3.4. Endophytes de la classe 3

Il existe une grande variété d'habitants endophytes de cette catégorie. Ces organismes ont la capacité de coloniser les parties aériennes d'une plante en grande quantité, mais de façon très précise. De cette façon, chaque plante hôte peut accueillir une grande variété d'individus ou d'espèces différentes, pouvant atteindre une centaine d'espèces (Selosse et al., 2011). Les feuilles des plantes tropicales offrent une bonne opportunité de colonisation. Ces endophytes sont strictement horizontalement transmis, en particulier lorsque la plante hôte est en sénescence : le champignon se développe et génère des spores sexuées ou asexuées. Cette famille d'endophytes est très variée en biodiversité. Le fait que le même hôte soit colonisé par

une multitude d'individus et d'espèces différentes rend difficile l'analyse de leur influence sur l'écosystème en milieu naturel (Rodriguez et al., 2009).

I.2.3.5. Endophytes de la classe 4

Parmi les ascomycètes du sous-embranchement des Pezizomycotina, ils seraient inscrits dans les ordres des Pleosporales, des Pezizales et des Helotiales (Herrera et al., 2008).

Les endophytes de la quatrième classe ont une variété d'hôtes, bien qu'ils soient généralement liés à des arbustes ou des arbres, notamment les espèces de conifères (Rodriguez et al., 2009). Leur occupation ne s'étend qu'aux racines des plantes, de façon extensive. Ils se caractérisent par la forme de leurs hyphes, qui sont septées et foncées par la présence de mélanine. On les qualifie de Dark Septate Endophytes (DSE) (Fig.2). Leur façon de se propager est exclusivement horizontale (Rodriguez et al., 2009). Dans les environnements arides, semi-arides, alpins ou subalpins (environnements à haut stress abiotique), ils ont une importance particulière (Herrera et al., 2008). Ils sont répandus en ce qui concerne leur biotope et se trouvent à travers le monde.

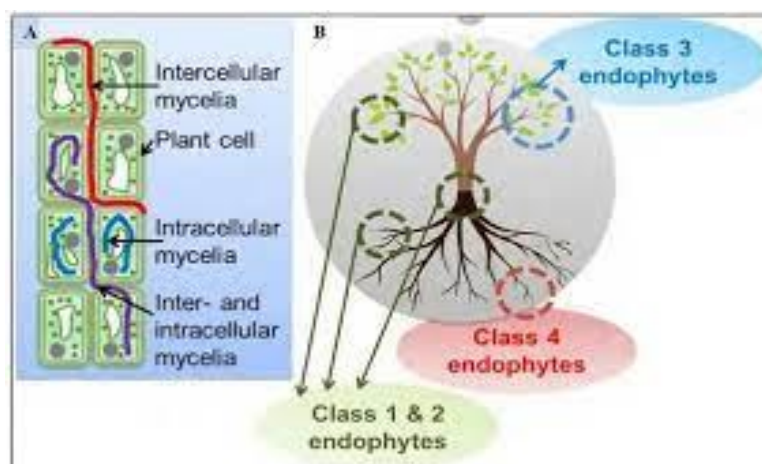


Figure 2 : Représentation schématique de l'association des champignons endophytes avec leurs plantes hôtes (Andéol et Benjamin, 2016)

(A) : Localisation des différentes classes d'endophytes.

(B) : Différents modèles de localisation des champignons endophytes dans les tissus végétaux.

I.2.4. Modes de reproduction et de transmission des champignons endophytes

Les endophytes possèdent deux modes de transmission:

➤ **Transmission verticale**

La transmission de ce mode se distingue par la colonisation d'un nouvel hôte, qui est le descendant de l'hôte primaire. Selon Hodgson et al. (2014), cela se produit lorsqu'un hyphé de Champignon endophyte pénètre dans une graine, un grain de pollen ou une propagule de la plante hôte. On a principalement observé la transmission verticale par la graine chez quelques espèces de champignons endophytes de la famille des Clavicipitaceae, qui sont présents dans les Poaceae, les Cypéraceae et les Juncaceae. Chez d'autres espèces d'endophytes, ce mode de transmission a également été signalé comme capable de coloniser diverses espèces, comme *Pinus spp*, *Vigna unguiculata*, *Theobroma cacao*, *Castanea spp*. et *Colophospermum mopane* (Wearn, 2014).

➤ **Transmission horizontale**

Cette transmission se caractérise par la colonisation d'un nouvel hôte qui, dans la plupart des cas, n'a pas de lien avec l'hôte initial (Yamaji et al., 2016 ; Lata et al., 2018). Il consiste à diffuser les spores via un vecteur de dispersion. Une fois la germination terminée, l'hyphé pénètre le nouvel hôte soit par les stomates, soit directement par l'épiderme (Véga et al., 2008 ; Raghavendra et Newcombe, 2013). On trouve ce type de transmission chez la majorité des espèces d'endophytes, qui s'installent dans une grande diversité de plantes.

Le champignon peut produire des spores soit par reproduction sexuée, soit par reproduction asexuée (Suryanarayanan et al., 2009 ; Kharwar et al., 2011 ; Kusari et al., 2012)(Fig.3).

La reproduction sexuée et la reproduction asexuée sont les modes de reproduction des endophytes. Comme certains champignons ont la capacité de produire des spores sexuées et asexuées, et que la reproduction sexuée exige des spores sexuées, elle se fait toujours du côté horizontal. D'autre part, la reproduction asexuée peut avoir lieu soit verticalement par les graines, soit horizontalement par les spores ou éventuellement les hyphes (Saikkonen et al., 2004).

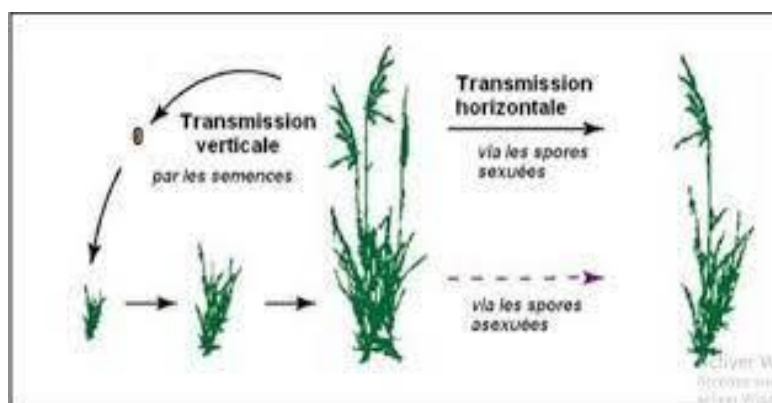


Figure 3 : Cycle de vie des endophytes (Saikkonen et al., 2004). Cycle de vie des endophytes (Saikkonen et al., 2004).

I.2.5. Rôle et importance des champignons endophytes

Selon Zhao et al. (2011), les endophytes constituent une ressource précieuse de composés qui peuvent être exploités dans le secteur agricole. Les effets positifs qu'ils ont sur l'intégrité et la durabilité des agro-écosystèmes sont nombreux, ce qui entraîne une augmentation des revenus agricoles. Selon Langner et al. (2018), ces effets comprennent une augmentation notable de la croissance des plantes, de la biomasse végétale, du rendement en matière sèche et du rendement en céréales.

I.2.5.1. Rôle physiologique

La croissance des plantes est favorisée par les endophytes, qui jouent un rôle essentiel dans l'agriculture. La régulation de la croissance de ces micro-organismes peut être active ou passive grâce à divers mécanismes tels que la solubilisation du phosphore, du potassium et du zinc, la production de phytohormones, de composés chélateurs du fer, d'enzymes hydrolytiques, de cyanure d'hydrogène et d'ammoniac (Yadav et al., 2019).

➤ Production des phytohormones

Les endophytes produisent des phytohormones, des substances organiques qui ont un impact sur les processus physiologiques des plantes à des concentrations très faibles. Les hormones produites par les plantes elles-mêmes sont chimiquement identiques ou similaires (Patten et Glick, 2002). D'après des recherches récentes, la colonisation par les endophytes a pour effet d'augmenter l'absorption des nutriments et la biomasse des plantes (Gravel et al., 2007 ; Phetcharat et Duangpaeng, 2012 ; Shi et al., 2014). On distingue généralement cinq types de phytohormones : l'acide abscissique, les cytokinines, l'éthylène, les gibbérellines et l'acide indole-3-acétique (AIA), dont l'éthylène est essentiel dans les interactions entre les plantes et les endophytes (Imran et al., 2019) (Fig.4).

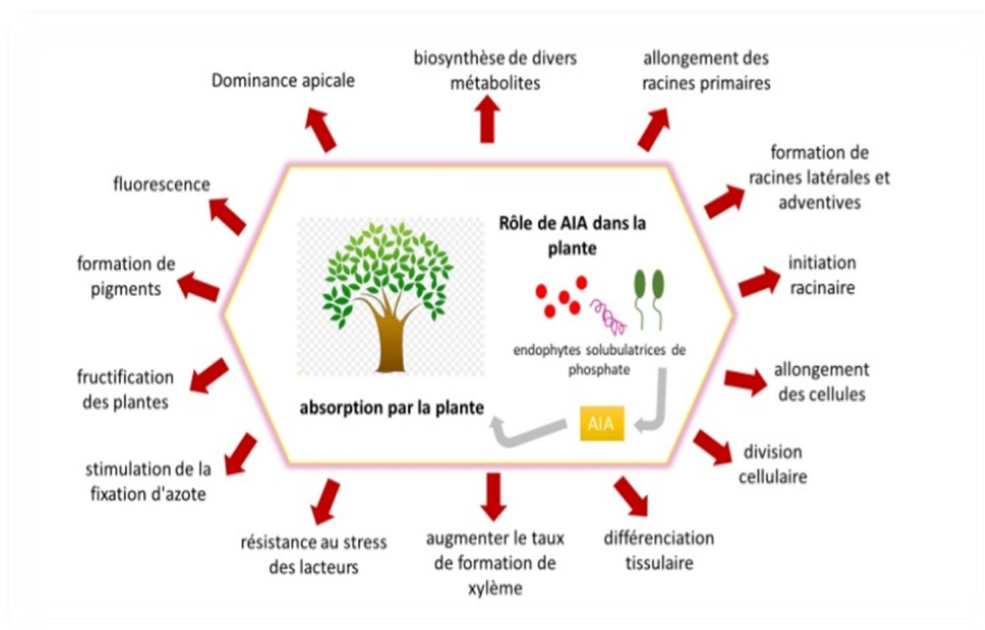


Figure 4: Role de l'acide indole acétique dans l'amélioration de la croissance végétale (Khan et al., 2009).

I.2.5.2. Protection contre les microorganismes pathogènes

Les endophytes ont la capacité d'utiliser différents mécanismes afin de prévenir la croissance et l'activité des microorganismes phytopathogènes. Ces mécanismes incluent la synthèse d'antimicrobiens tels que les antibiotiques, l'activation des défenses de la plante hôte, la compétition pour les nutriments ou les sites de colonisation, ainsi que le mycoparasitisme (Cao et al., 2009). De plus, plusieurs recherches ont démontré que des extraits liquides issus de cultures d'endophytes entravaient la prolifération de différentes espèces de champignons phytopathogènes (Kim et al., 2007).

I.2.5.3. Protection contre les insectes et les ravageurs

Le premier à avoir montré que les champignons endophytes peuvent protéger les végétaux contre les insectes est probablement Webber (1981). Par exemple, l'espèce *Phomopsis oblonga* préserve les ormes du dendroctone *Physocnemum brevilineum*, bactérie responsable de la maladie hollandaise de l'orme. Les composés toxiques produits par cet endophyte ont un effet répulsif sur ce vecteur. Cette observation a été confirmée par Claydon et al. (1985) qui ont démontré que les champignons endophytes de la famille des Xylariaceae produisent des métabolites secondaires chez les plantes hôtes du genre *Fagus*, qui sont bénéfiques pour les larves des coléoptères.

Différents endophytes ont des caractéristiques insecticides (Kaul, 2012). Selon Tapper et Lane (2004), il a été démontré que les alcaloïdes, qui sont des métabolites secondaires des champignons endophytes, jouent un rôle dans leur toxicité pour les insectes, tels que la péramine, l'ergovaline et les janthitremes.

Martinuz et al. (2012) ont constaté que l'inoculation simultanée de courges par les champignons endophytes des racines *Fusarium oxysporum* Fo162 et *Rhizobium etli* G12 entraîne une résistance systémique et diminue la population de pucerons *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera, Aphididae).

I.2.5.4. Tolérance des plantes aux stress abiotiques

En raison des changements climatiques et du réchauffement mondial, les plantes sont de plus en plus exposées à des stress abiotiques (Pandey et al., 2017). La sécheresse, la salinité, les métaux lourds, les rayonnements UV et les variations de température sont des stress abiotiques qui affectent négativement la physiologie et la morphologie des plantes. Selon Egamberdieva et al. (2017) et Pandey et al. (2017), ils altèrent la régulation génétique des voies cellulaires, ce qui a un impact négatif sur leur croissance et leur performance.

Selon Waqas et al. (2014), les endophytes ont la capacité d'aider leurs plantes hôtes à s'adapter aux stress abiotiques et à favoriser leur croissance en produisant des hormones végétales et en facilitant l'acquisition de nutriments. Par conséquent, la résistance aux stress abiotiques nécessite au moins deux mécanismes : (a) l'activation du système de réponse de l'organisme à l'exposition au stress afin de minimiser son impact, et (b) la synthèse de métabolites anti-stress (Lata et al., 2018).

Chapitre III : Salinité

Chapitre II : La salinité

Introduction

La salinité des sols est un sujet très large et varié. Selon Ramade(2002), la salinité est un facteur écologique constitué par la teneur en sel (NaCl) des eaux ou des sols. Dans de nombreux écosystèmes, la salinité est un facteur limitant. D'après Slama(2004), la salinité désigne la quantité totale de sels solubles présents dans l'eau d'irrigation ou dans la solution du sol. Ainsi, la salinisation correspond au processus par lequel les sels solubles se rassemblent dans la terre. Il est reconnu que la salinisation est un élément essentiel de la détérioration des sols. L'une des principales raisons techniques de la diminution de la production agricole dans de nombreux espaces irrigués, notamment dans les zones arides et semi-arides, est son rôle. Selon Wicke et al. (2011), il est estimé que la salinisation des sols entraîne une perte de 7% de la superficie mondiale des terres. Selon Hamdy(2004), les sels solubles sont présents dans les sols salés, en particulier les cations (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-). Il est possible de mesurer la concentration en sels en mg/l ou en utilisant la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée à 25°C, qui est exprimée en dS/m. Selon Calvet(2003), un sol est qualifié de salin lorsque sa conductivité dépasse 4 dS/m. Selon Chinnusamy et al. (2005), ce seuil indique le degré de sensibilité de la plupart des cultures à la salinité des sols.

Au niveau mondial, la salinisation des terres entraîne une diminution annuelle de 1 à 2% des surfaces irriguées. Selon Escudier et al. (2019), les zones les plus affectées sont les zones arides et semi-arides. Dans de nombreux pays du monde, la salinité du sol et de l'eau représente un défi majeur. Selon Bouassaba et al. (2018), c'est elle qui est considérée comme le principal obstacle abiotique entravant la productivité végétale et les rendements agricoles.

II.1. Répartition des sols salés

II.1.1 Dans le monde

Selon Abdelly(2006), la salinité a un impact sur de vastes espaces et restreint la productivité des plantes. Dans plusieurs régions du monde, la situation est encore plus délicate dans de nombreuses régions du monde en raison de la diminution des réserves d'eau douce Abdelly(2006). Les sols salins sont largement présents à travers le monde et leur salinité représente l'un des principaux défis pour le développement agricole (Abdelly, 2006). Environ 950 millions d'hectares sont occupés par les sols salés dans le monde (Hasan, 2015).

Selon Flower's (2005), 20 % des 275 millions d'hectares de terres irriguées et 15 % (227 millions d'hectares) des terres cultivables sont touchés par la salinité.

Selon Ben Ahmed et al. (2008), une augmentation de la salinité des sols affecte environ quinze millions d'hectares de terres agricoles au Maghreb et au Moyen-Orient. Selon Ben Ahmed et al. (2008), les sols salés représentent environ 10% de la surface totale du pays, ce qui représente environ 25% de la surface totale des sols cultivables. En Égypte, la salinisation touche 35 % des zones cultivées, tandis que 90% d'entre elles sont encombrées (Ben Ahmed et al., 2008).

On trouve souvent des terrains salés dans les zones arides et semi-arides. Selon le tableau 2, la superficie totale des terres mondiales est représentée par les zones hyperarides, qui représentent 4,2%, les zones arides 14,6% et les zones semi-arides 12,2% (Flowers, 2005). Par conséquent, environ un tiers des terres du monde sont des terres arides. Elles couvrent plus de 600 000 km² au nord du Sahara, avec une répartition suivante : 34% en Algérie, 31% en Libye, 19% au Maroc, 11% en Tunisie et 5% en Égypte (Flowers, 2005).

Tableau 2 : Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO., 2008).

Région	Superficie (millions d'hectares)
Afrique	80.5
Europe	50.8
Amérique du Nord	15.7
Amérique du Sud	129.2
Australie	357.3
Mexique et Amérique centre	2
Asie du Sud Est	20
Asie du centre et Nord	211.7
Asie du Sud	87.6
Total	954.8

II.1.2. En Algérie

Selon les recherches de Chérif et al. (2018), 3,2 millions d'hectares sont touchés par le phénomène de salinisation, avec des degrés de gravité différents. La plupart de ces terres sont situées dans les steppes, où la salinisation est favorisée par des températures élevées pendant presque toute l'année, le manque d'exutoires et l'absence de drainage efficace.

Ce phénomène se trouve dans les plaines et vallées de l'ouest du pays (Mila, Cheliff, Habra Sig, Maghnia), dans les hautes plaines de l'est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), autour des chotts et sebkhas (Chott Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkha d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazher Gharbi et Chergui, etc.) et dans le grand sud, en particulier dans les oasis et le long des cours d'eau. Près de 95% du territoire est composé de zones semi-arides et arides (Lahouel, 2014). Les sols salés sont largement présents dans les zones arides, représentant environ 25% de la superficie, soit 3,2 millions d'hectares (Lahouel, 2014; Cherief et al., 2018).

Tableau 3 : Classement des wilayas touchées par la salinité en fonction du pourcentage de la surface agricole utile S.A.U (Benzellat., 2013).

Wilayas	Surface agricole utile SAU (ha)	Superficie affectée par la salinité	% de la S.A.U affecté par la salinité
Tamanrasset	2510	1445	57,57
Ouargla	17390	9850	56,64
Ghardaïa	7930	3284	41,41
Bechar	13250	2249	16,97
Illizi	570	60	10,53
Djelfa	67760	6250	9,22
Relizane	241670	20000	8,28
Ain temouchent	18350	15000	8,14
Tébessa	231750	13000	5,61
Adrar	14990	780	5,20
Biskra	151530	7272	4,80
Khanchla	177900	4480	2,52
Mascara	328740	6475	1,97
Alger	7940	150	1,89
Mostaganem	131730	1977	1,50
Naama	4150	62	1,49
Laghouat	487740	800	1,48
Batna	85860	5100	1,05
Oran	188620	850	0,99
Cheliff	183860	1490	0,79
Guelma	22150	1283	0,70
Mila	72090	100	0,45
Boumerdès	306480	192	0,27
Saida	615340	700	0,23

II.2. Effets de la salinité sur le sol et sur la plante

II.2.1. Effet de la salinité sur les propriétés des sols

La salinité cause de sérieux problèmes sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols:

II.2.1.1 Effets sur les propriétés physiques

La présence d'une grande quantité de sels solubles peut avoir un impact sur les caractéristiques pédologiques, en particulier en ce qui concerne la dispersion des colloïdes, la stabilité structurelle et la perméabilité hydraulique (Servant, 1970 ; Cheverry, 1972 ; Aubert, 1983 ; Halitim et al., 1988).

II.2.1.2. Effets sur les propriétés chimiques

Selon Oustani (2006), l'excès de sels a une influence importante sur les caractéristiques chimiques du sol, en particulier sur le pH et le taux de sodium échangeable (ESP).

- **Ph** : La réaction du sol est déterminée par la composition des sels. Les acidifiants sont des sels tels que le sulfate de calcium (CaSO_4), le chlorure de potassium (KCl) et le sulfate de magnésium (MgSO_4). Certains autres produits alcalinisants sont le bicarbonate de sodium (NaHCO_3), le carbonate de calcium (CaCO_3) et le carbonate de sodium (NaCO_3).

- **ESP** : Le sodium échangeable est particulièrement élevé dans les sols alcalins, où les concentrations de sels solubles sont faibles, et la plupart du sodium est échangeable. D'autre part, les sols salés contiennent la plupart du sodium.

II.2.2. Effet de la salinité sur les plantes

Selon Hillel (2000), la salinité joue un rôle essentiel dans la limitation de l'agriculture. Chez la plupart des plantes cultivées, elle se traduit fréquemment par une diminution de la croissance et du développement (Munns et al., 1983). Selon Ashraf et Harris (2004), la salinité entraîne des modifications morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui ont un impact négatif sur la croissance et la productivité des plantes.

II.2.2.1. Les mécanismes touchés par la salinité

Chez les plantes sensibles, ils débutent par une inhibition de la croissance des feuilles. Pour les graminées, cette réaction est associée aux éléments osmotiques du stress salin et est influencée par l'acide abscissique (ABA), qui régule l'ouverture des stomates.

II.2.2.2. Effet de la salinité sur la germination et la levée

Les premières phases de germination et de croissance sont cruciales pour établir l'espèce qui se développe dans des environnements salins. En général, la salinité du sol entrave ce

Stade de germination, ce qui est plus sensible que les autres stades de développement (Ouhaddach, 2016).

Selon Ouhaddach (2016), une salinité élevée empêche la germination, que ce soit par osmose ou par toxicité particulière. En raison de la pression osmotique, il est nécessaire que les graines absorbent une quantité adéquate d'eau afin de rétablir la valeur critique en apport hydrique, ce qui déclenche la germination, notamment grâce aux ions Na^+ (Maas et Poss, 1989).

Selon Saeed et al. (2014), la présence de NaCl dans la solution nutritive à une concentration élevée entrave la germination. Le chlorure de sodium prolonge la durée de la germination et retarde la levée, car les stress salin et osmotique sont à la fois responsables de l'inhibition et du retard de la germination et de la levée des graines.

Selon Karmous (2007), la présence de salinité entrave aussi la germination, ce qui expose les semences à des risques accrus. On a découvert que la salinité a un effet osmotique qui inhibe la germination, affectant tous les processus de germination en diminuant le potentiel hydrique autour des graines. Selon Maas et Poss (1989), cela empêche l'accès à l'eau pour restaurer la réhydratation et relancer l'activité embryonnaire.

Le potentiel osmotique réduit de la solution du sol empêche l'imbibition des graines en raison d'une diminution des activités enzymatiques et d'une absorption plus importante de Na^+ que de K^+ . Cela provoque une toxicité embryonnaire et un retard dans les métabolismes Adel et Bader (2002).

Selon Mauromicale et Licandro (2002), plus de 50 % des graines d'artichauts irriguées avec des solutions salines décèdent entre 4 et 5 jours après l'apparition de la radicule. Selon Duan et al. (2004), même chez les halophytes, la salinité a un impact sur la germination : elle entrave l'absorption d'eau (effet osmotique) et, dans certains cas, entraîne un effet ionique.

II.2.2.3 Effet de la salinité sur la croissance et le développement

Selon Bouaouina et al. (2000), la salinité est un obstacle important pour la croissance et le développement des plantes. Elle a un impact sur la croissance de différentes plantes.

Le stress entraîne des changements morphologiques, mais c'est le poids de la matière végétale sèche et la longueur des tiges qui déterminent la tolérance ou la sensibilité des plantes au sel (Belkhouche, 1992).

La croissance et la reproduction des plantes sont impactées négativement par le stress salin de différentes manières. Celui-ci engendre des déséquilibres nutritionnels et hormonaux, une déficience ionique, un stress oxydatif et osmotique, ainsi qu'une sensibilité accrue des

Plantes aux maladies. Ainsi, les plantes peuvent subir des dommages ou même mourir en raison du stress salin (Zhao et al., 2021).

La salinité entraîne surtout une réduction de la croissance de l'appareil végétatif, avec une ramification faible, un diamètre des organes faible, un nombre réduit de nœuds, ainsi qu'une diminution du nombre de feuilles et de la longueur de la tige. On a également constaté une diminution du poids des matières fraîches et sèches (Rush et Epstein, 1981).

Lévigneron et al. (1995) montrent qu'une augmentation brutale de la salinité du sol entraîne une diminution immédiate de la croissance des feuilles. On constate un retard de croissance important chez la majorité des glycophytes à partir de 50 mM/l de NaCl dans le sol.

Par conséquent, la productivité en biomasse de *Medicago*, telle que la luzerne, diminue de 40 % lorsque la concentration en sel est de 12 g/l (Levigneron et al., 1995).

La présence de salinité a également un impact sur la croissance et la qualité des fruits, ce qui entraîne des fruits plus petits et nécrosés, en altérant leurs qualités organoleptiques. Pour cette raison, la valeur commerciale de ces fruits diminue (Levigneron et al., 1995).

La salinité entraîne également une diminution de la croissance, ce qui est également due à la libération des ions et au déséquilibre nutritionnel. Cela entraîne non seulement une augmentation de la concentration de sodium (Na^+) et de chlorure (Cl^-) dans les plantes, mais aussi une diminution de l'absorption des éléments nutritifs antagonistes essentiels tels que le potassium (K^+), le calcium (Ca^{2+}) et le magnésium (Mg^{2+}), en concurrence avec le Na^+ et les nitrates (NO_3^-) (Zörb et al., 2005).

Selon Esfandiari et al. (2007), le stress salin, en plus des composants connus du stress osmotique et de la libération des ions, se manifeste également sous la forme d'un stress oxydatif.

II.2.2.4. Effet de la salinité sur la photosynthèse

Selon (Santiago et al., 2000), la présence de salinité diminue la vitesse de la photosynthèse en particulier la conduction stomatique du CO_2 .

Selon Alem et al. (2002), la salinité a un impact sur l'activité physiologique de la feuille, en particulier la photosynthèse, qui est la principale raison de la diminution de la productivité végétale. D'après Munns (2008), cette diminution de la photosynthèse est associée à une diminution du potentiel hydrique des feuilles, ce qui entraîne la fermeture des stomates et, par conséquent, une diminution de la conductance stomatique (Debez et al., 2008). La baisse des taux de photosynthèse induite par la salinité diffère dans les différents génotypes.

En général, les taux de photosynthèse et de conductance stomatique des géotypes tolérants au sel sont moins affectés par la salinité par rapport aux géotypes sensibles au sel (Lopez-Climent et al., 2008).

Selon Foyer et Noctor (2005), la salinité a un impact significatif sur la fixation photosynthétique du CO₂. De plus, ils ont observé que le taux d'absorption d'énergie lumineuse par les pigments photosynthétiques est supérieur à celui de sa consommation par les chloroplastes.

La photosynthèse est affectée à court et à long terme par le stress salin. Après quelques heures jusqu'à un à deux jours d'exposition au stress, les effets à court terme se manifestent, avec une réponse importante qui se traduit par une cessation complète de l'assimilation du carbone (Azirou et al., 2020).

Selon Munns et Termaat (1986) et Parida et Das (2005), l'effet à long terme se manifeste après plusieurs jours d'exposition au sel, où l'assimilation du carbone diminue en raison de l'accumulation du sel dans les feuilles en développement. Selon Kao et al. (2001 dans Parida et Das, 2005), la photosynthèse est également interrompue dans des conditions de stress salin, même si elle peut être stimulée par de faibles concentrations de sel (Kurban et al.,

1999 dans Parida et Das, 2005). La diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs:

1. La déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO₂.
2. la toxicité du sel.
3. la réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture hydroactive des stomates.
4. La sénescence accrue induite par la salinité.
5. le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique. (Iyengar et Reddy, 1996 in Parida et Das, 2005).

II.2.2.5. Effet de la salinité sur l'état hydrique de la plante

Le stress salin est généralement causé par de fortes concentrations de Na⁺ et de Cl⁻ dans la solution du sol (Rabiah, 2019).

Selon Yeo (1998), la plante subit une diminution du bilan hydrique, ce qui entraîne probablement une diminution initiale de sa croissance. Le fait que la solution nutritive contenant de grandes quantités de sels minéraux perturbe l'équilibre hydrique des feuilles, ce qui réduit les capacités hydriques et osmotiques (Chaves et al., 2009).

Différentes espèces, comme l'orge (Horie et al., 2011), le blé dur (Ouerghi et al., 2015) et la tomate (Rivero et al., 2014), sont confrontées à cette réduction des potentiels hydrique et osmotique en présence de sel dans le milieu de culture.

L'état hydrique des plantes est souvent évalué en utilisant la teneur relative en eau (RWC). Selon Munnset al. (2006), les plantes absorbant des quantités significatives de sodium (Na^+) et de chlore (Cl^-) dans un environnement salin, mais le transport et l'accumulation de ces éléments varient en fonction du degré de tolérance de l'espèce en question. . Les plantes exposées à la salinité perdent de l'eau lorsque la teneur en solutés augmente, ce qui entraîne une diminution du RWC sous l'effet du NaCl. Les mesures de l'état hydrique chez le blé montrent cela, avec une pression de turgescence marquée par la salinité, mais une diminution significative du RWC (Rampino et al., 2012).

II.3. Mécanismes de tolérance des plantes à la salinité

Le stress hydrique causé par les effets osmotiques du sel et le stress chimique principalement causé par la dépendance au sodium sont les deux formes de réponse des plantes à la salinité. Ainsi, l'évaluation de la réaction à la salinité d'une espèce ou d'une variété spécifique est souvent conditionnée par des éléments complexes.

Plusieurs mécanismes peuvent être développés par les halophytes et les glycophytes afin de garantir leur croissance et leur développement dans des conditions de salinité (Rabiaa, 2019).

II.3.1. Inclusion et compartimentation des ions

Selon Ben Hassine et al. (2008), l'une des façons d'adaptation à la contrainte saline est la division des ions entre les organes (parties racinaires/parties aériennes), les tissus (épiderme/mésophylle) ou encore les compartiments cellulaires (vacuole/cytoplasme).

L'inclusion et la compartimentation des ions est l'une des stratégies les plus efficaces pour éviter la toxicité du Na^+ sur les sites métaboliques dans le cytoplasme (Ouerghi et al., 2000)(Fig.5).

Le sel est conservé dans les vacuoles à l'intérieur des cellules par des systèmes de "pompes" moléculaires. Selon Sentenac et Berthomieu (2003), les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule qui permettent d'isoler le sel des composants cellulaires vitaux.

De plus, pendant des périodes de stress salin, les plantes peuvent maintenir des niveaux élevés de K^{2+} et des niveaux faibles de Na^{2+} dans le cytosol. Le processus est provoqué par l'action des transporteurs de K^{2+} et Na^{2+} ainsi que des pompes à proton H^{2+} (Silveira et al., 2009). Selon Zhu (2003), les mitochondries ont également la capacité d'accumuler certains ions de Na^{2+} , ce qui favorise la distribution de Na^{2+} dans les cellules.

On peut observer une compartimentation chez les halophytes, qui peuvent retenir des concentrations de plus de 500 mM de NaCl dans les tissus foliaires sans subir de dommages (Flowers et Colmers, 2008 ; Tavakkoli et al., 2011).

II.3.2. Exclusion

Les tissus de l'organisme empêchent ou limitent la pénétration du stress (substance toxique). Il est bien connu que les halophytes, pendant les journées ensoleillées, sécrètent les sels sous forme de cristaux visibles à la surface de leurs feuilles (Batamouny, 1993) et le sel ne remonte pas dans la sève jusqu'aux feuilles, car la plante ne le permet pas. Le transport sélectif et la présence de l'endoderme dans les racines provoquent l'absorption des ions nutritifs essentiels et la réémission des ions Na^+ (Genoux et al., 2000).

Selon Luttge et al. (2002), certains halophytes peuvent prévenir l'absorption excessive du sel en l'éliminant au niveau des racines et de la partie inférieure de la tige. Ce processus d'exclusion des sels à partir des racines est utilisé par elles afin de contrôler les niveaux de sels dans les feuilles (Silveira et al., 2009).

Le chlorure (Cl^-) est plus toxique que le sodium (Na^+) pour des plantes telles que le soja, l'avocat, ainsi que pour certaines espèces utilisées pour l'exclusion de Cl^- , comme les porte-greffes de vigne et d'agrumes etc. Cela ne veut pas dire que Cl^- soit plus toxique métabolisme que Na^+ ; ces espèces sont simplement plus efficaces à évacuer Na^+ par les feuilles que Cl^- . Ainsi, malgré la possibilité que Na^+ soit plus toxique, Cl^- devient un composant essentiel plus nocif car la plante gère mieux le transport de Na^+ que celui de Cl^- (Prior et al., 2007).

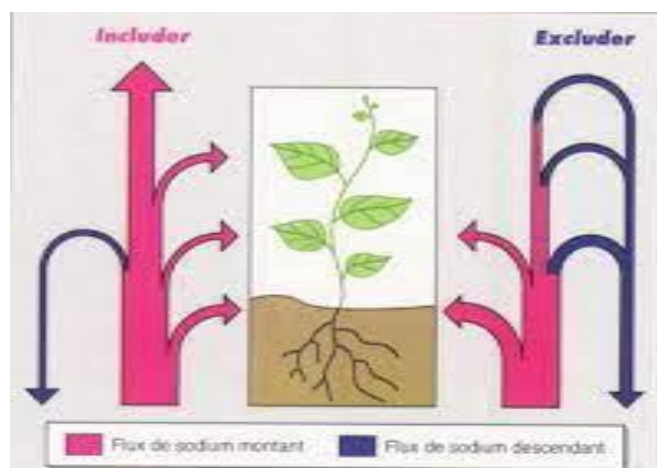


Figure 5: Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes includer ou excluder (Levigneron et al., 1995).

II.3.3. L'excrétion

L'autre méthode pour que les plantes survivant au stress salin soit d'évacuer le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans cette situation, les plantes restreignent l'accès aux éléments salins et les évitent dans le compartiment apoplasmique (Blumwald et al., 2004 ; Munns, 2005).

Ce processus est spécifique aux halophytes, où il est réalisé par les glandes foliaires et les poils vésiculeux, et garantit une concentration constante de sel dans les cellules foliaires. Selon Flower et al. (2010), ces glandes foliaires font sécréter du sel (principalement du NaCl) à partir des feuilles et maintiennent des concentrations ioniques internes à un niveau bas. L'évitement favorise le maintien d'un niveau élevé d'hydratation dans la plante. Il est possible d'obtenir cela en diminuant la transpiration, qui est souvent liée à une diminution de la productivité (Yoshida et al., 2015). La fermeture des stomates permet de réduire la transpiration, ce qui restreint l'absorption du gaz carbonique et la photosynthèse (Kaymakanova et Stoeva, 2008).

Le phénomène d'enroulement foliaire provoqué par la perte de turgescence peut également avoir un impact sur la transpiration (Hsiao et al., 1984). L'enroulement des feuilles, caractéristique de nombreuses plantes cultivées telles que le blé et le sorgho, peut être interprété comme un signe de diminution de la turgescence et un moyen d'éviter la déshydratation.

II.3.4. L'Ajustement osmotique

Aujourd'hui, l'ajustement osmotique est considéré comme un mécanisme essentiel pour s'adapter aux contraintes ioniques et osmotiques. Il se traduit par la faculté d'un végétal à

accumuler, au niveau symplasmique et activement, des ions (K^+ , Na^+ , Cl^-) et des composés organiques (fructose, glucose, tréhalose, raffinose, fructanes) et certains acides aminés (proline, glycine bêtaïne, β -alanine bêtaïne, prolinebêtaïne) (Azirou et al., 2020).

Ce processus favorise la préservation de diverses fonctions physiologiques comme la photosynthèse, la transpiration et la croissance, et peut être présent à tous les stades de l'évolution du végétal. Il protège les membranes et les systèmes enzymatiques, en particulier dans les organes jeunes. Selon Hassani et al. (2008), la proline semble jouer un rôle essentiel dans la préservation des pressions entre le cytosol et la vacuole ainsi que dans la régulation du pH.

En général, on considère que l'ajustement osmotique joue un rôle crucial dans la résistance des plantes au stress hydrique. Selon Nouri et al. (2002), cette modification consiste à accumuler, au niveau cellulaire, des sucres, des acides aminés (comme la proline), des ions ou d'autres solutés compatibles (c'est-à-dire non toxiques).

L'ajustement osmotique joue un rôle essentiel dans l'adaptation à la sécheresse. Il est de plus en plus intéressant en raison de divers facteurs, tels que le maintien de la turgescence et de la croissance, le retard de l'enroulement et de la sénescence foliaire et la régulation de la stomatique. L'osmorégulation offre également une protection des membranes et des systèmes enzymatiques, en particulier dans les organes jeunes (Ottow et al., 2005).

Chapitre III

Blé

Chapitre III : Le blé

Généralités

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. Selon Djermoun (2009), la production de céréales est l'une des principales filières agricoles en Algérie.

D'après les prévisions de la FAO (2019), la production mondiale de céréales devrait atteindre 2 685 millions de tonnes d'ici 2019, ce qui représente une augmentation de 1,2 % vers 2018.

En Algérie, comme en Afrique du Nord, les cultures céréalières constituent la principale activité agricole et alimentent de nombreuses activités de transformation, telles que la semoulerie, la boulangerie et l'appareil alimentaire. De plus, elles sont l'élément essentiel de l'alimentation et jouent un rôle essentiel dans les habitudes alimentaires des populations, à la fois en milieu rural et en milieu urbain. (Aidani, 2015).

Cependant, malgré les superficies cultivées et les efforts fournis, le rendement demeure insuffisant pour atteindre l'autosuffisance. Ceci est dû, d'une part, à une population continue de croître, et d'autre part, aux problèmes climatiques, tels que la pluviométrie variable et faible, qui se manifestent par des contraintes hydriques, salines et thermiques (Aissani, 2019).

Les céréales les plus cultivées et les plus répandues dans le monde sont, selon Hamadache (2013), le blé dur (*Triticum durum Desf*) et le blé tendre (*Triticum aestivum L*).

Dans ce chapitre une principale céréale est présentée : le blé dur (*Triticum durum Desf*).

III.1. Le blé dur

III.1.1. Classification de blé dur

Le blé dur est une céréale herbacée monocotylédone. Il fait partie de la famille des Poacées (anciennement Graminées), du genre *Triticum*. Selon Feillet (2000), cette famille regroupe 600 genres et plus de 5000 espèces. Il appartient à la catégorie des tétraploïdes ($2n=28$) (Boulal et al., 2007). Les génomes A et B du blé dur proviennent de *T. monococcum* et B d'*Aegilops spelloïdes* (Huang et al., 2002).

D'après la classification de APG III, (2009), le blé dur se classe de manière suivante:

- **Règne:** Plantae
- **Sous-règne:** Tracheobionta
- **Embranchement:** Phanérogamiae

- **Sous-Embranchement:** Magnoliophyta (Angiospermes)
- **Division:** Magnoliophyta
- **Classe:** Liliopsida (Monocotylédones)
- **Sous-classe:** Commelinidae
- **Ordre:** Poales (Glumiflorale)
- **Famille:** Cyperales
- **Sous-famille:** Poaceae (Graminées)
- **Tribue:** Pooideae (Festucoideae)
- **Sous-Tribue:** Triticeae
- **Genre:** TriticinaeTriticum
- **Espèce:** *Triticum durum Desf*

III.1.2. Biologie et cycle de développement

III .1.2.1. Morphologie et Structure du grain de blé dur

Selon Zeitoun (2011), le blé est un fruit sec et indéhiscant qui renferme la graine, connu sous le nom de «caryopse ». Il se compose de trois parties principales : Le germe, les enveloppes et l'albumen (Fig.6).

L'albumen : Selon Fredot (2005), l'albumen est une substance blanche et friable constituée de grains d'amidon entourés d'un réseau de gluten. Selon Pomeranz (1988), il est le compartiment le plus grand du grain, représentant environ 80 % de son poids. L'albumen amylicé est un tissu de réserve composé de granules d'amidon enchâssés dans une matrice protéique composée principalement de prolamines (gliadines et gluténines de poids moléculaires élevés et bas), d'albumines et de globulines (Debiton, 2010).

Les enveloppes de la graine : Représentent (13à17%) de la biomasse du grain se composent de cinq tissus différents : le péricarpe externe, le péricarpe interne composé d'une couche de cellules tubulaires et d'une couche de cellules croisées, la testa ou tégument séminal et la bande hyaline ou épiderme du nucelle (Lesage, 2011).

Le germe : Le germe est le fruit de la fusion des gamètes mâles et femelles, formant ainsi l'embryon de la future plante. Selon Surget et Barron (2005), il contient une grande quantité de protéines (albumines et globulines), de lipides, de minéraux, de vitamines et de sucres solubles. Le germe est composé de deux parties : l'axe embryonnaire, où la gemmule est entourée de la coléoptile qui forme la future tige, et la radicule, où la coléorhize est enveloppée à l'opposé (Surget et Barron, 2005).

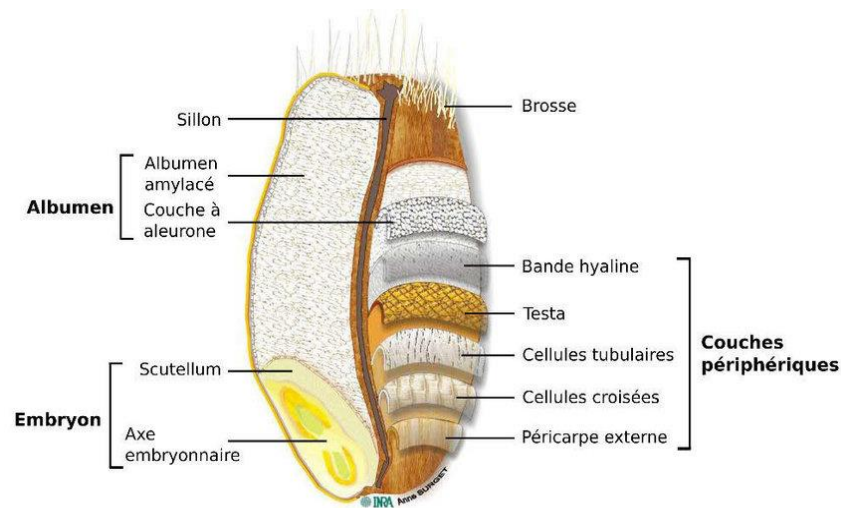


Figure 6: Structure du grain de blé (Surget et Barron, 2005).

III.1.2.2 Composition chimique de grain de blé

Selon les variétés et les conditions de culture, le grain est principalement composé d'environ 70 % d'amidon et de 10 à 15 % de protéines. Il renferme aussi entre 8 et 10 % de pentosanes. Les autres éléments, plus faibles (quelques pourcents seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (Tab.4). Il y a une répartition inégale de ces composants dans les différentes fractions histologiques du grain.

Tableau 4 : Composition chimique de grain de blé (Feilliet, 2000).

Nature de composant	Teneur (%ms)
Protéines	10-15
Amidon	67-71
Pontasanes	8-10
Celluloses	2-4
Sucre libre	2-3
Lipides	2-3
Matières Minérales	1.5-2.5

III.1.2.3. Appareil végétatif

L'appareil végétatif comprend l'appareil aérien et l'appareil racinaire (Gate et Giban, 2003):

Le système aérien : Le blé possède un appareil aérien composé de plusieurs talles, issues d'une zone située à la base de la plante, le plateau de tallage. Une fois pleinement développée, chaque talle est constituée d'une tige et de feuilles (Clarke et al., 2002).

La tige cylindrique du chaume du blé est formée d'entre-nœuds séparés par des nœuds plus ou moins saillants. Chaque point d'attache d'une feuille est un nœud. Le blé a une feuille simple, allongée, alternée, à nervures parallèles. Elle est divisée en deux parties :

- La partie inférieure entourant la jeune pousse qui est la gaine.
- La partie supérieure en forme de lame qui est le limbe.

Le système racinaire est composé de deux sortes de racines (Moslem et al., 2022)

▪ **Les racines primaires :** également appelées racines séminales, sont issues de la semence et se développent lors de la germination. Il y a d'abord la radicule, puis la première paire de racines, puis la deuxième. Ces racines, de tissus primaires seulement, alimentent la plantule jusqu'au stade de taille.

▪ **Le système racinaire :** fasciculé est assez développé et comporte des racines adventives ou coronaires. Ces racines, issues du développement de nouvelles hauteurs, peuvent s'étendre jusqu'à 1,50 m de profondeur.

III.1.2.4. Appareil reproducteur

Le blé a une inflorescence appelée épi, qui n'est pas définie. C'est composé d'unités de base connues sous le nom d'épillets. Elles forment une grappe d'une à cinq fleurs, chacune entourée de deux glumelles (inférieure et extérieure). C'est une grappe qui se trouve entre deux bractées ou glumes, et dont les fleurs sont attachées au rachis. En général, trois étamines et un ovaire sont présents sur chaque fleur. Les fleurs sont hermaphrodites et le blé est une plante autogame : le pollen d'une fleur pollinise l'ovaire de la même fleur, ce qui fonctionne comme une pollinisation autogame (Anonyme, 2002).

III.1.2.5. Cycle de développement

Le cycle de développement du blé est constitué d'un ensemble d'étapes différentes, qui permettent de séparer la vie des céréales en deux phases principales. Il y a la première phase végétative, où la plante ne produit que des feuilles et des racines. La seconde étape est la période de reproduction, caractérisée par l'émergence de l'épi et la création du grain (Feddaoui et Bouchelaghem, 2018).

III.1.2.5.1. La période végétative

La végétation du blé s'étend de la germination au tallage (Feillet, 2000). La germination se manifeste par l'imbibition de la semence, la réactivation des enzymes et la dégradation des réserves assimilables par l'embryon. Pendant cette étape, la radicule émerge des enveloppes séminales et du coléoptile, qui constituent un étui protecteur de la première feuille, s'insère dans le sol (Boufenar et al., 2006).

Selon Giban et al. (2003), la levée se distingue par le nombre de feuilles présentés sur la jeune plante et leur stade de développement.

Le tallage débute à partir de la quatrième feuille. La première talle, également appelée talle primaire (maître-brin), se forme à l'âge de 3 feuilles, à l'aisselle de la première feuille du blé. Selon Hamadache (2013), les deuxième et troisième talles se forment respectivement à l'aisselle de la deuxième et troisième feuille. Selon Soltner (2005), la fin du tallage marque la fin de la période végétative et le début de la phase reproductive, qui est influencée par la photopériode et la végétation, permettant ainsi l'allongement des entre-nœuds.

III.1.2.5.2. La période reproductive

Selon Feillet (2000), la reproduction se déroule en quatre phases : montaison, épiaison, floraison et maturation (Fig.7).

La montaison commence à la fin du tallage et se distingue par l'allongement des entre-nœuds et la distinction des pièces florales (Soltner, 2005).

Selon Giban et al. (2003), l'épiaison est la sortie de l'épi de la dernière feuille, et elle est enregistrée lorsque l'épillet terminal se trouve au-dessus de cette gaine. Le processus de floraison se manifeste par la libération des étamines au niveau des épillets et se termine lorsque toutes les étamines sont libérées (Giban et al., 2003). Pendant la maturation, la couleur du blé commence à évoluer, passant du vert au jaune/doré/bronze (Soltner, 2005).

La maturation est suivie du stade pâteux (45 % d'humidité). Elle correspond à la période où le grain perd progressivement son humidité, en traversant différentes étapes (Giban et al., 2003). La maturation débute à la fin du cycle hydrique, caractérisée par la persistance de la teneur en eau des grains pendant une période de 10 à 15 jours (Giban et al., 2003). À la fin de cette période, le grain ne perd que l'excès d'eau et est progressivement rayable à l'ongle (20 % d'humidité), puis cassant sous la dent (15 à 16 % d'humidité) (Giban et al., 2003).

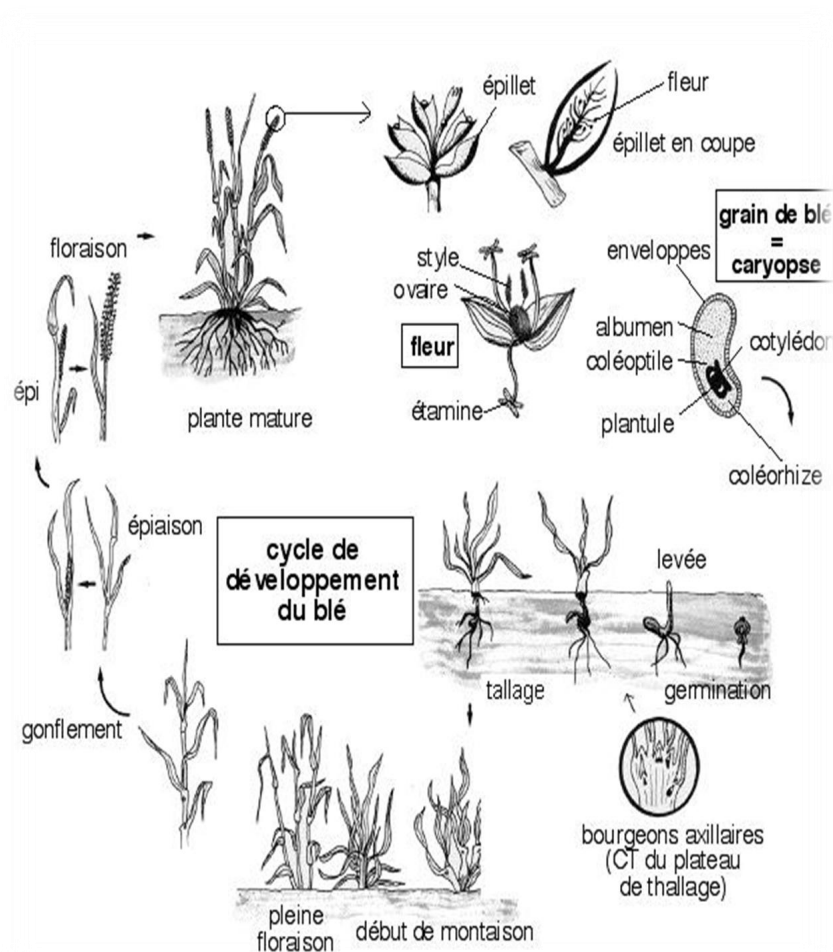


Figure 7: Le cycle de développement du blé (Lemekeddem et al., 2014).

III .1.3. Importance du blé dur

➤ Dans le monde

Selon l'organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2024), la production mondiale de blé dur est de 797 millions de tonnes, ce qui représente une hausse de 1,0% par rapport à l'année précédente. La Russie produit le plus (36,7 Mt), le Canada (21,5 Mt), les États-Unis (14,5 Mt), l'Union européenne (13,4 Mt) et la Turquie (12,5 Mt).

La consommation mondiale de blé dur devrait rester stable à 780 millions de tonnes, ce qui représente une légère augmentation de 0,1% par rapport à 2023, principalement pour la production de semoule et de pâtes alimentaire (FAO, 2024). Les pays les plus importants sont l'Afrique du Nord (32,0 Mt), l'Union européenne (14,7 Mt), le Moyen-Orient (10,3 Mt), l'Asie (9,2 Mt) et l'Amérique latine et les Caraïbes (5,8 Mt). Il est prévu que le commerce mondial du blé dur atteigne 22 millions de tonnes, avec la Russie (11,0 Mt), le Canada (6,0 Mt), les

États-Unis (1,8 Mt) et l'Union européenne (1,5 Mt) en tête des exportations. Ils sont principalement importés d'Afrique du Nord (13,0 Mt), d'Asie (5,0 Mt), de l'Union européenne (2,0 Mt) et du Moyen-Orient (1,5 Mt). Au terme de la campagne 2024, les réserves mondiales de blé devraient baisser de 0,7% par rapport aux niveaux d'ouverture record, atteignant 308 millions de tonnes. Le rapport entre les stocks et l'utilisation devrait maintenir un niveau de 30,9% en 2023/24. En somme, le blé dur est essentiel pour assurer la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale, en particulier pour les populations d'Afrique du Nord, du Moyen-Orient et d'Asie. En 2023/24, la production et la consommation de blé devraient voir une légère augmentation (Fig.8).

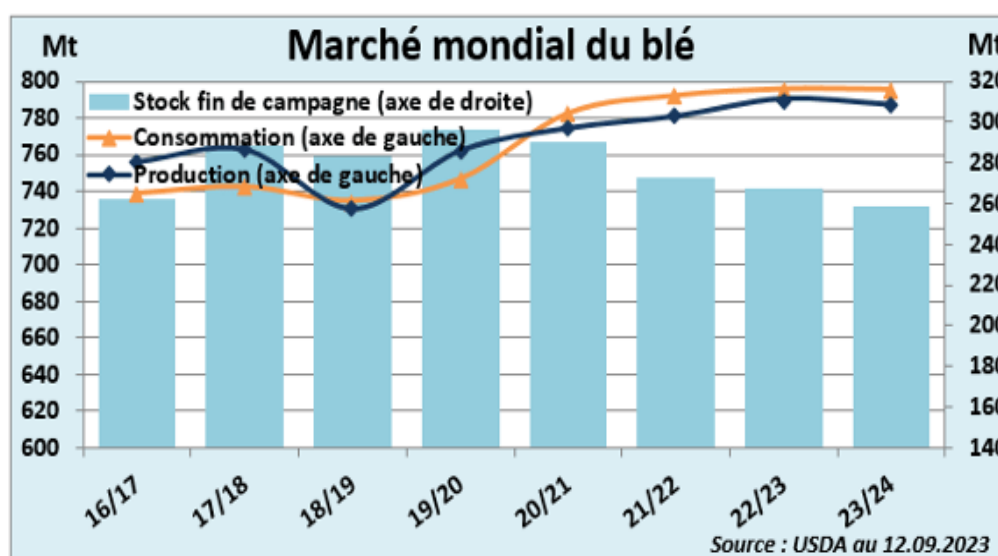


Figure 8: Marché mondial du blé (USDA, 2023).

➤ En Algérie

Pour la campagne 2023/2024, la FAO estime que la production de blé dur en Algérie est de 2,5 millions de tonnes, soit une légère diminution par rapport à l'année précédente où elle était de 3 millions de tonnes. Depuis plusieurs années, cette tendance à la diminution persiste. L'Algérie reste un important importateur de blé dur, malgré une demande intérieure croissante et une production nationale insuffisante. Selon la FAO, les importations totales de céréales (blé dur, blé tendre et maïs) sont estimées à 14 millions de tonnes pour la campagne 2023/2024. Si les importations de blé dur n'ont pas de données précises, ce dernier représente une partie importante de ces importations.

La consommation de blé dur en Algérie est traditionnellement élevée, avec une préférence marquée pour les produits à base de semoule tels que le couscous et les pâtes. La FAO estime

que la consommation de blé durera atteindra 3,2 millions de tonnes en 2023/2024, créant ainsi un déficit que le pays devra combler par des importations. Cette dépendance croissante aux importations expose l'Algérie aux fluctuations des prix internationaux et aux aléas climatiques des pays exportateurs.

En Algérie, on consomme traditionnellement beaucoup de blé dur, avec une forte préférence pour les produits à base de semoule comme le couscous et les pâtes. Selon la FAO, la consommation de blé prévue pour 2023/2024 atteindra 3,2 millions de tonnes, ce qui entraînera un déficit que le pays devra combler grâce aux importations. Le gouvernement algérien a élaboré des stratégies pour accroître la production nationale de blé dur, en améliorant les rendements et en soutenant les agriculteurs, dans le mais à long terme d'atteindre l'autosuffisance.

Étude expérimentale

Chapitre I

Matériels et méthodes

Objectif et conduite de l'essai

Cette étude a été réalisée dans le but d'améliorer le pouvoir de la germination du blé dur sous stress salin grâce aux Bio priming induit par le champignon endophyte *Aspergillus niger*. Ce dernier, isolé de l'algue marine ''*Halopithys incurva*'' a été choisi pour cette étude.

L'expérimentation a été réalisée au niveau du laboratoire de protection des végétaux, unité Culture *in vitro* à l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.

I. Matériels et méthodes

I.1. Matériels

I.1.1 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude a été, aimablement, fourni par coopérative des céréales et des légumes secs (C.C.L.S) de Relizane. Il s'agit de la variété SIMETO de blé dur, d'origine italienne (Tab. 5).

Tableau 5 : Principales caractéristiques du génotype SIMETO.

Plante	Génotype	Origine	Cycle végétative
Blé dur	SIMETO	IEC (Italie)	Semi-précoce

I.1.2. Matériel fongique

Aspergillus niger est l'un des champignons endophytes halotolérants collectionnés par le laboratoire protection des végétaux et identifié par Dr. Mahiout Djamel.

La souche a été conservée à 4 °C sur milieu Potato Dextrose Agar (PDA) afin de préserver sa vitalité.

I.1.2.1. Identification morphologique

➤ Critères d'identification macroscopique

L'identification d'*Aspergillus niger* a été réalisée à l'œil nu. Ce champignon se reconnaît par la couleur noire caractéristique qui recouvre la surface de la colonie. Sa texture est à la fois cotonneuse et veloutée, avec des spores noires bien visibles, conférant un aspect poudreux à l'ensemble. *Aspergillus niger* est à croissance rapide, et peut atteindre une taille notable en quelques jours seulement, dans des conditions optimales de température avoisinant les 25 °C.

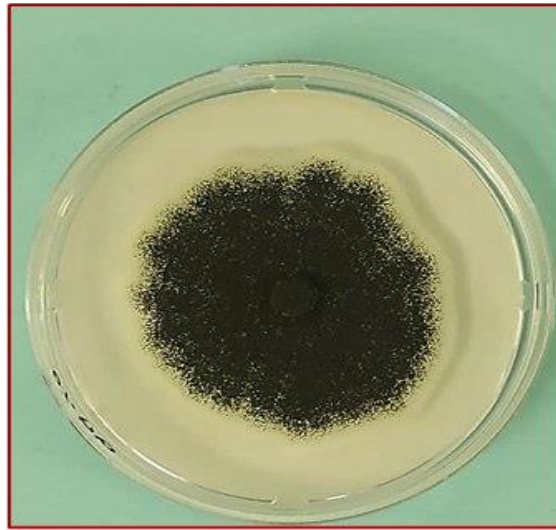


Figure 9: Aspect de la colonie du champignon *Aspergillus niger* (Photo originale, 2024).

➤ **Critères d'identification microscopique**

L'identification microscopique d'*Aspergillus niger* est réalisée après préparation d'une culture fongique sur milieu approprié, suivie d'un étalement entre lame et lamelle. À un grossissement de 40x, les conidies se présentent sous forme de spores noires, arrondies et souvent organisées en chaînes à l'extrémité des hyphes. Les hyphes sont généralement septées et présentent une coloration claire, permettant de les distinguer des autres espèces de champignons. L'examen des conidies et de la structure des hyphes est crucial pour confirmer l'identité d'*Aspergillus niger*, car ces caractéristiques morphologiques sont spécifiques à cette espèce (Klich, 2002; Samson et al., 2004).



Figure 10: *Aspergillus niger*, vu au microscope photonique X 40 (Photo originale, 2024).

I.2. Méthodes

I.2.1. Préparation des cultures mycéliennes

À partir de la souche mère préalablement conservée à 4°C, des fragments de la colonie endophyte sont prélevés de manière aseptique sous une flamme de bec bunsen, puis transférés sur des boîtes de Pétri contenant du milieu PDA. Les boîtes sont ensuite incubées à 25 °C.

I.2.2. Préparation de la suspension sporale

Depuis la culture âgée de 7 jours, une suspension de spores de l'espèce a été préparée en raclant la surface à l'aide d'une spatule métallique. La suspension obtenue est ensuite filtrée à travers de la mousseline pour séparer les conidies des fragments mycéliens. La solution ainsi obtenue est ajustée à l'aide de PDB stérile.

I.2.3. Préparation de la concentration de 10⁶ spores/ml

Pour préparer une concentration de 10⁶spores/ml, 10 µl de la suspension sporale bien agitée a été déposée sur une cellule de Malassez. Les spores ont ensuite été comptées au microscope dans 5 grands carrés. La concentration en spores/m a été calculée en multipliant la moyenne des spores observées par 10⁴. La suspension a ensuite été ajustée par dilution ou concentration afin d'atteindre la concentration souhaitée de 10⁶ spores/ml.

La densité des spores est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Densité (Spores/ml)} = (\text{Nbre totale de spore comptées/Nbre de carrés comptés}) * 100$$

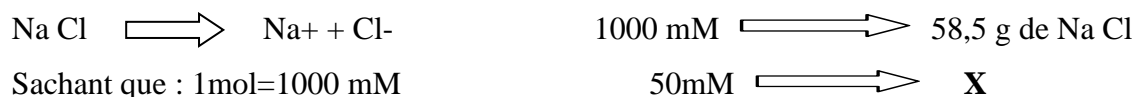
I.2.4. Application du traitement pré germinatif (endurcissement ou amorçage)

Au début, les graines de blé dur ont été minutieusement sélectionnées, puis triées sur la base de plusieurs critères : - graines vigoureuses, complètes et indemnes de toutes attaques microbiennes apparantes.

Préparation des solutions salines

La solution saline a été préparé avec du chlorure de sodium "NaCl" à quatre Concentrations différentes (50, 100,150 et 200mM).

Pour préparer une concentration de 50mM de NaCl:



$$\mathbf{X = 2.925}$$

Alors, on a ajouté **2.925 g** de NaCl à 1 litre d'eau distillée.

La même opération a été adoptée pour les autres concentrations 100, 150 et 200 (mM/l).

- **Témoin**

Aucun traitement avant la mise en germination.

- **Traitement à une seule hydratation (Bio priming)**

Les graines de blé dur ont subi une simple hydratation qui consiste à les imbiber dans une suspension de spores pendant une période inférieure à 10 heures avant semi.

I.3.4. Mise en germination des semences

Le dispositif expérimental utilisé dans cette étude implique l'étude de deux facteurs en randomisation complète, avec 5 répétitions pour chaque traitement (Fig.11).

Les graines de blé dur (*Triticum durum Desf*) ont d'abord été désinfectées avec de l'hypochlorite de sodium à 5% pendant 30secondes, puis soigneusement rincées à l'eau distillée à trois reprises. Après avoir été laissées sécher à l'air libre pendant 30 minutes, les graines ont été transférées dans des boîtes de Pétri (Ø 90 mm) tapissées de deux couches de papier filtre, puis mises à germer à l'obscurité pendant 4 jours à une température de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Les graines ont été réparties en quatre séries, selon le traitement appliqué: le témoin (les graines ont reçu uniquement de l'eau distillée), les contrôles de traitements du stress salin (50, 100,150 et 200mM),

Les graines traitées par le champignon endophyte *Aspergillus niger* ont subi un priming, sous stress salin, puis ont été enrobées d'argile avant d'être mises à germer (Fig. 11).

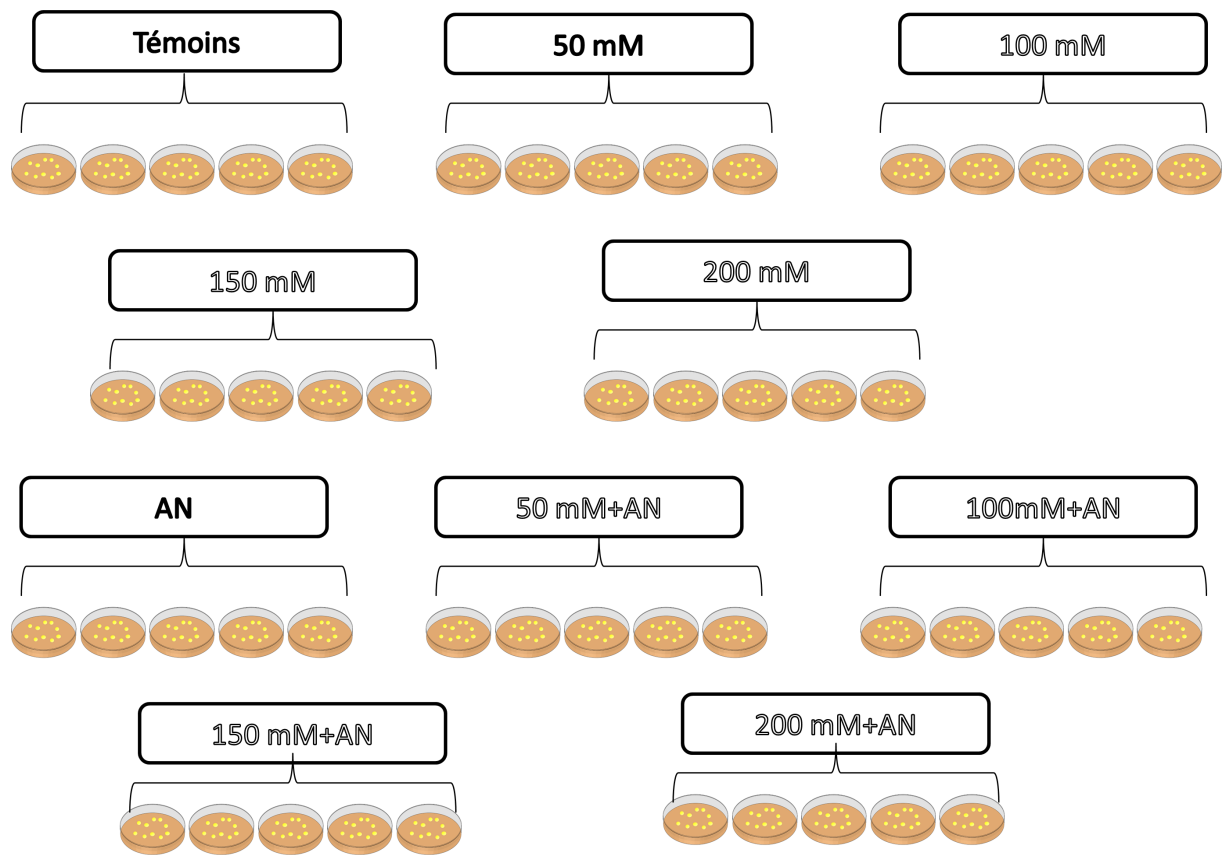


Figure 11 : Dispositif expérimental I: Germination du blé dur.

I.3.5. Paramètres suivis

Le comportement d'une plante n'est pas facile à observer à partir d'un seul paramètre. En réalité, la surveillance du comportement des plantes en réponse au stress salin dépend de divers paramètres physiologiques et morphologiques.

1. Cinétique de germination

Le pourcentage de la germination quotidienne dans les conditions de l'expérimentation est la cinétique d'évolution de la germination, obtenu dans les conditions choisies par l'expérimentateur, il dépend des conditions de la germination et des traitements subis par la semence (Belkhoudja et Bidai., 2004).

$$CG\% = \frac{\text{Nombre de graine germées quotidiennement} \times 100}{\text{Nombre total de graines testées}}$$

2. Taux de germination

Le taux de germination est déterminé à partir du nombre total des graines met en germination et le nombre des graines germée (Ahoton et al., 2009).

En effet, le taux de germination est calculé par la formule suivante;

$$\text{Taux de germination (\%)} = \frac{\text{Nombres de graines germées}}{\text{Nombre total des graines}} 100$$

3. Longueurs des radicules et des coléoptiles

Mesurées après 4 jours de mise en germination.

4. Nombre des racines

Le nombre de racines développées par chaque graine est compté après 4 jours de germination.

I.3.6. Analyses statistiques

Les données des traitements ont été examinées par l'analyse de la variance (ANOVA). Les résultats sont présentés en moyennes \pm écarts types. Le test de Student-Neuman-Keuls est utilisé pour comparer ces moyennes, lorsque l'ANOVA montre une signification. $P \leq 0,05$ indique un effet significatif.

Chapitre III

Résultats et discussion

Résultats

II. Résultats et discussion

II.1. Résultats

II.1.1. Cinétique de la germination

Pour mieux comprendre la signification physiologique du comportement germinatif de la variété du blé étudiée, les graines germées ont été comptées quotidiennement jusqu'au quatrième jour de l'expérience.

La figure (12) Présente l'évolution de la germination du blé dur de la variété SIMETO au fil du temps, en fonction des différentes concentrations de stress salin appliquées lors du traitement. Pour le témoin, la germination a enregistré un taux de 86,20%, 24 heures après. Celle-ci a augmenté légèrement pour atteindre 95,40% (48h), puis s'est stabilisée à partir du troisième jour avec un taux de germination de l'ordre de 97,20%. Toutefois, une corrélation négative a été observée suite à l'augmentation progressive de la concentration en NaCl. À titre d'exemple, à une concentration de 100 mM de NaCl, un taux de germination de 61.6% a été affiché après 24 heures, suivi d'une légère augmentation (3 %), 24h après, soit 64,40% de graines germées au bout de 48 heures. De même, sur les lots traités à raison de 150 mM, le taux de germination a regréssé encore pour atteindre 49,4 %, 24 heures après. Ce taux est resté approximativement stable lors des observations suivantes. La même observation est notée lorsque les graines ont été traitées à 200mM ; des valeurs minimales de 33,00 – 43,20 – 45 - 45% ont été enregistrées 24, 48, 72 et 96 heures après la mise en culture.

Il est important de signaler que l'augmentation de la concentration du NaCl allant de 50 à 150 mM constitue la gamme montrant l'effet inhibiteur du sel sur la germination des graines de blé.

Contrairement au test précédent, en absence de sel, plus de la moitié des graines ont germé (> 60 %) seulement 24 heures après avoir été traitées au champignon endophyte *Aspergillus niger*. Ce taux atteint (> 80 %) après 48 heures. Enfin, la quasitotalité des graines ont retrouvé leur pouvoir germinatif au bout 96 heures. Alors qu'en condition saline de 50 mM de NaCl, un taux de germination supérieur à 80 % a été enregistré pour les graines traitées avec le champignon endophyte après seulement 24 heures. Celle ci attend plus de 90 % en fin de l'expérimentation. Sous un stress salin de 100 mM, environ 71.4 % des graines traitées ont germé après 24 heures, ce pourcentage augmente faiblement pour atteindre plus que 74 % après 96 heures. À une concentration de 150 mM, le taux de germination minimal a été observé après 24 heures, atteignant 52,8 %.

Ce taux a ensuite augmenté pour atteindre 57,4 % après 48 heures, puis 59,6 % après 96 heures. En ce qui concerne le traitement à 200 mM de NaCl, un taux de germination de 49,2 % a été noté après 24 heures, suivi d'une légère augmentation au fil du temps, atteignant 55,8 % à la fin de l'expérimentation.

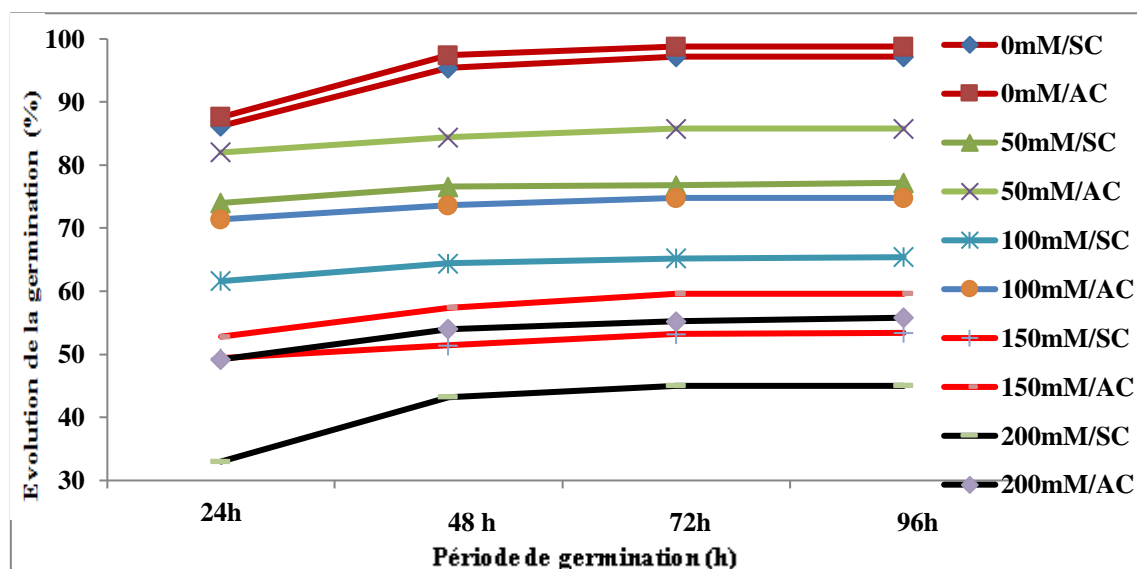


Figure 12: La cinétique de la germination du blé dur (%), variété SIMETO, sous l'effet de différentes concentrations de Na Cl (0mM, 50mM, 100 mM, 150 mM et 200 mM), en présence (AC) et en absence (SC) du champignon endophyte (*Aspergillus niger*).

II.1.2. Taux de germination final

Le taux de germination final de blé dur a été estimé après 96h de mise en germination des graines. Les résultats consignés sont visualisés graphiquement sur la figure 13.

La figure (13) présente la variation du taux de germination des semences amorcées à bio priming en fonction de différents niveaux de stress salin et leurs homologues non prétraités.

Dans la même perspective des analyses, l'interaction des facteurs «salinité» et «champignon endophyte» a mis en évidence un effet non significatif avec une valeur $p=0,13$.

Les résultats moyens des pourcentages de germination finaux (Fig.13) montrent que le taux final de germination des graines témoins (0mM de NaCl) a été estimé à 97,2%. Une importante réduction de germination a été enregistrée chez les graines traitées par des concentrations de Na Cl à 50 et 100mM, inscrivant des taux de 76,8 et 65,2%, respectivement. Cette réduction est encore plus sévère lorsque les graines ont été soumises à 150 et 200mM, affichant ainsi des taux de l'ordre de 53,2 et de 45%, respectivement.

En parallèle, en présence du champignon endophyte *Aspergillus Niger*, un taux de 98,8% a été enregistré par les graines du lot témoin.

Le taux de germination est plus élevé dans les dispositifs contenant 50, 100 et 150 mM de NaCl par rapport à leurs homologues témoins, avec des pourcentages respectifs de 85,8 %, 74,8 % et 59,6%.

Une augmentation significative de la germination a été remarquée après le bio priming des graines de blé dur par l'endophyte, sous stress salin 200mM. En conséquence, le taux de germination finale était supérieur à 50% par rapport au témoin.

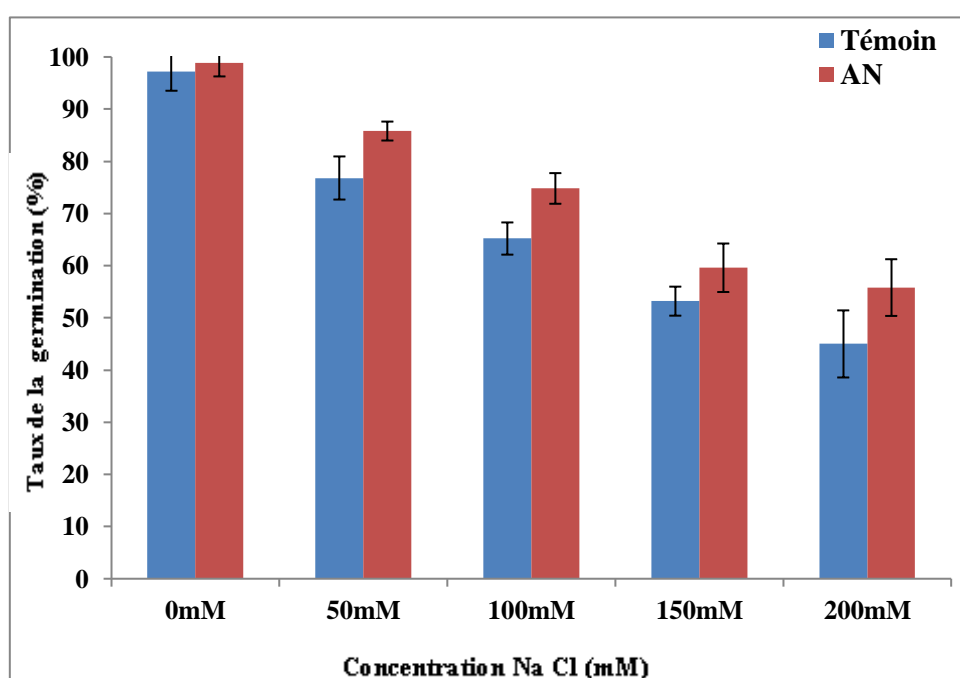


Figure 13: Taux de la germination du blé dur (%), variété SIMETO, sous l'effet de différentes concentrations de Na Cl (0mM, 50mM, 100mM, 150mM et 200mM), en présence (AN) et en absence (SC) du champignon endophyte (*Aspergillus niger*).

II.1.3. Longueur de la coléoptile

La croissance de la partie aérienne a été mesurée après 96 h de mise en germination des graines.

La figure (14) présente les résultats de l'effet de bio priming sur le développement de la longueur des épicotyles de la variété SIMETO de blé dur Desf, en conditions de stress salin. Nos résultats montrent que le stress salin par NaCl entraîne une réduction significative ($P=0$) de la croissance des épicotyles par rapport aux épicotyles de graines germées dans des conditions normales.

En conditions témoins, la longueur de l'épicotyle atteint 6,54 cm de long. Alors qu'une concentration de 50 mM de NaCl a permis de réduire clairement la longueur de ces derniers, en passant à 3,91 cm. Dans la concentration 100 mM, l'effet du sel est plus puissant, affichant ainsi une forte diminution de la longueur de l'épicotyle (1,15 cm). En concentration de 150 mM la longueur des épicotyles est de 0,58 cm. Tandis qu'en présence de 200mM de NaCl, la réduction est encore plus considérable avec des valeurs allant jusqu'à 0,44 cm.

La technique de bio priming a donné de meilleurs résultats comparativement à leurs témoins homologues. Les valeurs de 6,83 cm –5,36 cm–2.96cm–1, 41cm et 0, 7 cm ont été notées par la contrainte saline à 0, 50, 100, 150 et 200mM, respectivement.

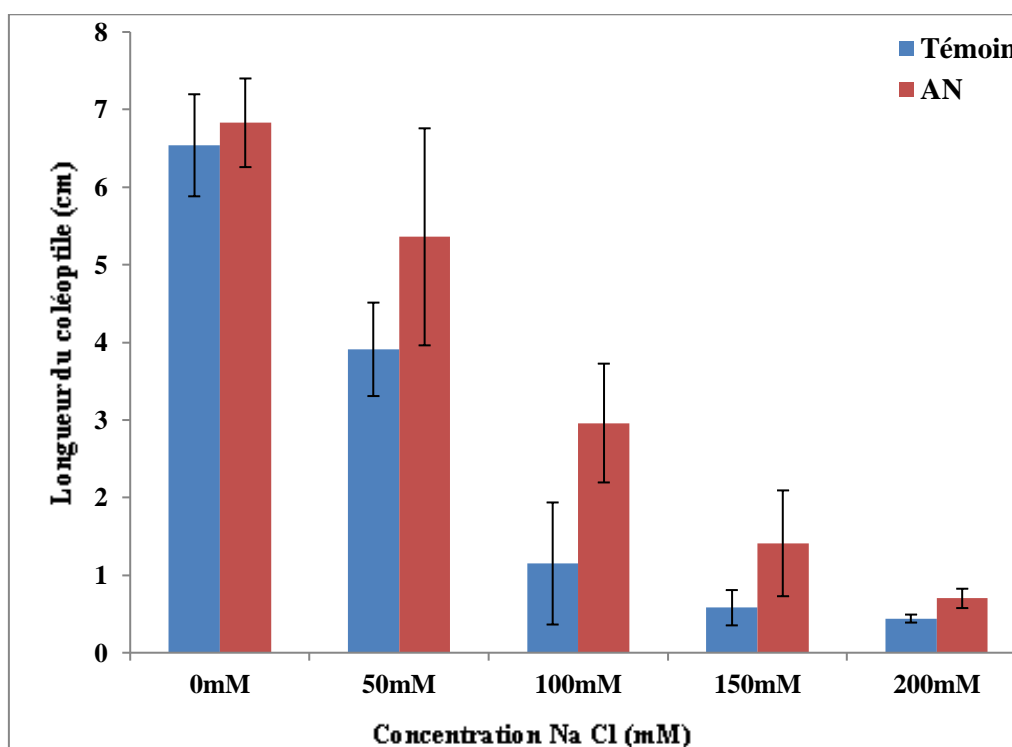


Figure 14: Longueur de la coléoptile de blé dur (cm), variété SIMETO, sous l'effet de différentes concentrations de NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM et 200 mM) en présence (AN) et en absence (SC) du champignon endophyte (*Aspergillus niger*).

II.1.4. Longueur de la racicule

La figure 15 illustre les résultats mesurés après 96 heures, sous l'effet du bio-priming sur le développement de la longueur des racicules de la variété SIMETO de blé dur (Desf) soumis sous conditions de stress salin. Les résultats indiquent que le stress salin induit par le NaCl

Provoque une réduction significative ($P = 0$) de la croissance des racines, comparativement à celles des graines germées dans des conditions normales.

Les données moyennes montrent d'importantes variations de la longueur à travers les différents traitements salins. C'est au niveau du lot témoin (0mM) que celle-ci est la plus élevée (10,69 cm). La longueur des racines présente une diminution significative avec l'augmentation de la concentration saline du milieu de germination, enregistrant des valeurs de 7,35 cm – 5,14 cm – 3,04 cm et 1,56 cm pour les concentrations de 50, 100, 150 et 200 mM, respectivement.

La comparaison des moyennes par le test de Newman-Keuls montre que l'effet du facteur «champignon endophyte» est non significatif $F_{4,1}$ et $P=0,2543$. Par contre, l'interaction entre les deux facteurs (salinité et champignon endophyte) entraîne une modification significative de la longueur des racines ($P=0,00115$). La plus longue racine, mesurant 9,05 cm, a été observée chez les graines de blé dur prétraitées à 0 mM de NaCl. À 50 mM, la longueur moyenne est de 5,9 cm, tandis qu'à 100 mM et 150 mM, elle diminue respectivement à 5,24 cm et 3,72 cm. Ces résultats suggèrent que le bio-priming peut favoriser la croissance des racines dans des conditions de stress salin allant de 150 à 200mM. En effet, les graines soumises à une concentration de 200 mM ont montré une performance germinative notable, dépassant celle du témoin de 1 cm, avec une longueur de racine atteignant 2,55 cm.

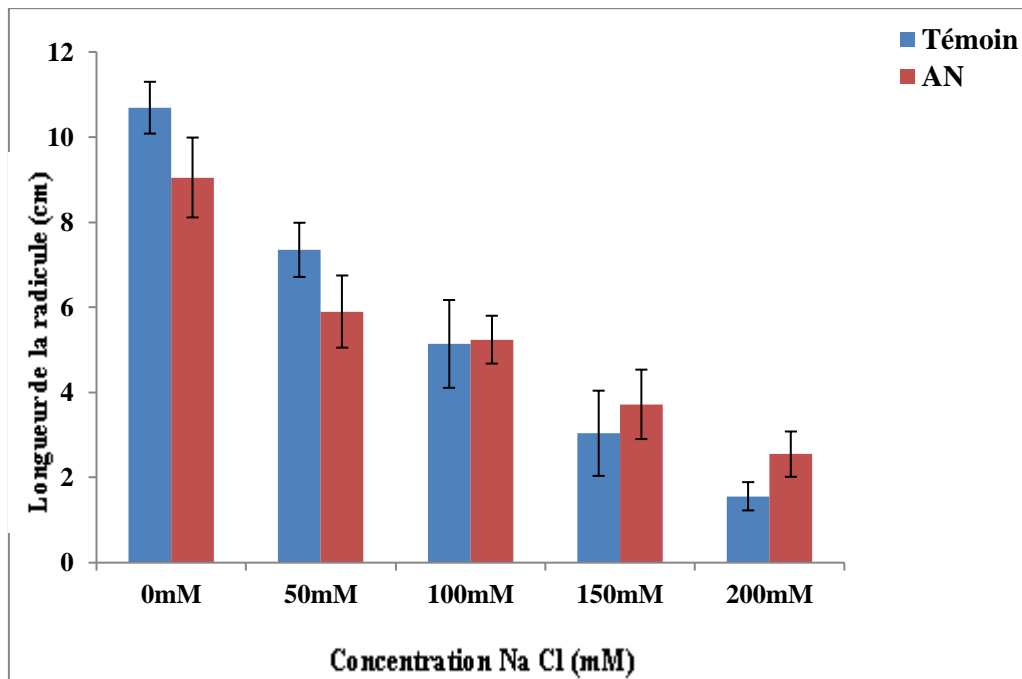


Figure 15: Longueur de la racine de blé dur (cm), variété SIMETO, sous l'effet de différentes concentrations de NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM et 200 mM), en présence (AN) et en absence (SC) du champignon endophyte (*Aspergillus niger*).

II.1.5. Nombre de racines totales

Le nombre de racines totales formées par le blé dur a été estimé après 96h de mise en germination des graines.

L'analyse de la variance à deux facteurs révèle un effet significatif de la salinité sur le nombre des racines élaborées par le blé dur ($P=0$).

Les résultats de la figure 16 montrent qu'à l'échelle du traitement témoin, le nombre de racines formées est de 5 racines. La réduction du nombre de racines reste tributaire de l'intensité du stress salin appliqué. Une importante réduction du nombre de racines total a été enregistrée par le blé au niveau du traitement salin 100, 150 et 200mM avec une moyenne de 3 racines.

De même, l'analyse comparative des moyennes, effectuée à l'aide du test de Newman-Keuls, a mis en évidence l'effet du facteur « champignons endophyte », avec $F_{4,1}=110,25$ et $P=0$. Le nombre maximal de 5 racines a été enregistré chez les graines de blé traitées par *Aspergillus niger*, dans le milieu dépourvu de toute salinisation.

L'interaction des facteurs «salinité» et «champignons endophytes» influent significativement sur l'élaboration des racines ($F_{4,1}=30,25$ et $P=0$).

En appliquant le bio priming, le nombre de racines est d'une moyenne de 5 racines par plantule dans la concentration de 50 mM.

En comparant ces moyennes avec le témoin, il a été observé que sous des conditions de salinité de 100 et 150 mM, le nombre de racines a atteint environ 5 par graine dans le cas du champignon, contre 3 racines par graine en absence de ce dernier. En revanche, à 200 mM, une réduction du nombre de racines a été notée, avec environ 3 racines par graine en présence du champignon endophyte. Ce résultat est comparable à celui obtenu à 200 mM sans endophyte.

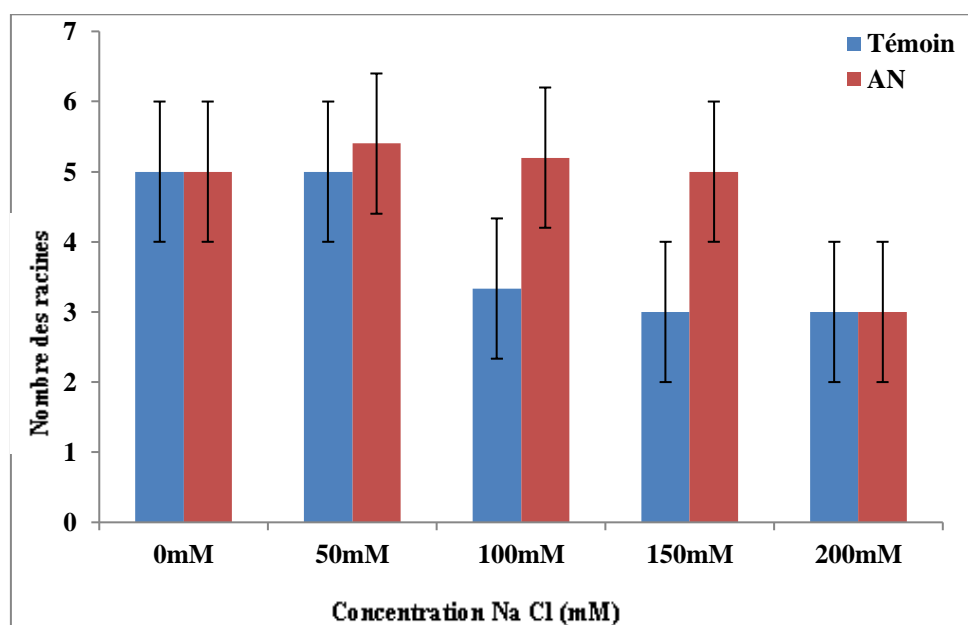


Figure 16: Nombre des racines de blé dur, variété SIMETO, sous l'effet de différentes concentrations de Na cl (0 mM, 50mM, 100 mM, 150 mM et 200 mM) en présence (AN) et en l'absence (SC) du champignon endophytes (*Aspergillus niger*).

Discussion

Discussion

Le phénomène de salinisation est considéré comme le processus majeur de la dégradation des sols en zones arides et semi-arides. En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables chaque minute dont 3 hectares sous l'effet de la salinisation. En Algérie, 10 à 15% des surfaces irriguées (20 à 30 millions d'hectares) sont atteints par le phénomène de salinisation (Robert, 1992; Mermoud, 2006).

Les sols exercent une influence sélective sur la végétation et inversement, pour chacune d'elles correspondent des sols typiques. Les plantes résistantes appartiennent à un nombre limité d'espèces et occupent assez peu le sol. Les espèces les plus caractéristiques des sols salés sont les halophytes dont les salsolacées et les chénopodiacées; les prés halophytes dont les composées et les graminées qui sont des espèces moins résistantes (Ozenda, 1983).

D'après Porcel et al. (2011), la salinité des sols a un impact négatif sur les organismes vivants, affectant non seulement les plantes, mais aussi les microorganismes qui leur sont associés, en particulier les champignons endophytes.

Selon Laur Net et Ahmed (1991), la germination représente la transition de l'état de vie ralenti à une vie active. Les réserves qui maintenaient le métabolisme résiduel de l'embryon sont alors métabolisées de manière active pour soutenir la croissance de la plantule. La première étape de ce processus est l'absorption d'eau et la réhydratation des tissus de la graine, un phénomène connu sous le nom d'imbibition (Hopkins, 2003). La réponse des graines à la salinité pourrait être un indicateur de la tolérance des plantes au sel pour les stades ultérieurs du développement (Misra et Dwivedi, 2004).

Vue l'importance de la phase germinative des semences dans le déroulement des stades ultérieurs du développement et de croissance des plantes, la contribution de l'endophyte *Aspergillus niger* dans la tolérance des graines de blé dur (Variété Simeto) à des concentrations croissantes en NaCl, a été étudiée, *in vitro*.

Les résultats obtenus dans cette étude nous ont permis de constater que le bio priming améliore le pouvoir germinatif et la vigueur du blé en conditions stressantes et non stressantes.

Plusieurs chercheurs ont attribué cet effet à l'activation des réactions métaboliques prégerminatives, ce qui entraîne des changements biochimiques dans la semence (Varier et al., 2010 ; Jowkar et al., 2012 ; Boucelha et al., 2019). Ces recherches ont révélé la production et l'activation des enzymes hydrolytiques, ainsi que de l'endo β -mannase, enzyme permettant

La production d'éthylène qui provoque la levée de dormance. Selon Boucelha et al. (2019), cette amélioration a été associée à une activation intense du système antioxydant.

Après analyse des résultats concernant le taux de germination, nous constatons que l'effet de la concentration de sel NaCl a été confirmé. Ces données corroborent ceux obtenues par Bentouati et Safsaf(2019) et le taux de germination a diminué en raison Gasmî et Dehiri (2018).

L'étude de la cinétique de germination et des résultats du taux de germination final montre que les conditions optimales de germination sont obtenues en absence de sel. Ce constat a été également rapporté par de nombreux travaux montrant que les graines de la plupart des espèces atteignent leur maximum de germination par eau distillée (Naidoo et Keit, 2006 ; Wei et al., 2008). Le pourcentage de germination diminue significativement avec l'augmentation de la concentration de NaCl chez les espèces de blé et d'orge (Rachidai et al., 2000; Mallek-Maalej et al., 2004), de Brassica(Jamil et al., 2005), et d'Atriplex(Bouda et Haddioui, 2011).

La germination correspond à une série d'événements qui commencent par l'absorption d'eau par la graine, étape essentielle, et se concluent par l'allongement de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule à travers les enveloppes entourant l'embryon (Hopkins, 2003; Boulal et al., 2007).

Le chlorure de sodium présent dans le sol ou dans l'eau d'irrigation affecte la germination de deux manières, il diminue la vitesse de germination et réduit le pouvoir germinatif (Mauromicale et Licandro, 2002).

De nombreuses études ont démontré que des concentrations élevées de sel dans le milieu de germination retardent ce processus et diminuent le taux final de germination (Askri et al., 2007 ; Mrani Alaoui et al., 2013). Selon Othman et al. (2006), cette réduction s'explique par une diminution de l'utilisation des réserves des graines. En outre, Prado et al. (2000) attribuent ce phénomène à l'apparition d'une dormance osmotique, un mécanisme d'adaptation aux conditions de stress. Des résultats similaires ont été rapportés par Wei et al. (2008), qui ont observé que les graines de glycophytes et d'halophytes réagissent de manière comparable à la salinité, réduisant ainsi le nombre total de graines germées et retardant l'initiation de la germination. Ce retard peut être expliqué selon Ben Miled et al. (1986), par le temps nécessaire à la graine pour mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne. Par ailleurs, Botia et al. (1998) et Ghrib et al. (2011)

Expliquent ce retard par l'altération d'enzymes et des hormones qui se trouvent dans la graine à cause de l'absorption des ions toxiques. Il pourrait s'agir également d'une difficulté d'hydratation des graines suite à un potentiel osmotique élevé entraînant une certaine inhibition des mécanismes aboutissant à la sortie de la radicule hors des téguments et par conséquent un retard de la germination des graines (Gill et al., 2003). La réduction des taux de germinations finales correspond à une augmentation de la pression osmotique externe et / ou à une accumulation de Na^+ et Cl^- dans l'embryon, ce qui affecte l'absorption de l'eau par les semences (Groome et al., 1991).

Une réduction complète de la germination a été observée chez les graines de blé dur exposées à de fortes concentrations de NaCl (200 mM) en l'absence de champignon endophyte. Ces résultats concordent avec ceux de Wei et al. (2008), qui ont montré que des concentrations élevées de sel bloquent la germination. Selon Murillo-Amador et al. (2002), cette inhibition est causée par l'effet combiné de la toxicité et du stress osmotique des sels. En effet, une concentration élevée de NaCl empêche la germination en réduisant l'imbibition d'eau, conséquence de la diminution du potentiel osmotique (Rafiq et al., 2006).

Les graines de blé dur traité par l'*Aspergillus niger* a permis d'enregistrer des taux de germination identiques à ceux enregistrés par les graines témoins. Selon Fortin et al. (2008), les champignons endophytes permettent aux plantes d'avoir un meilleur accès aux éléments nutritifs et l'eau du substrat, ce qui favorise leur croissance.

Pendant cette étude, la coléoptile a été négativement affectée par la salinité; plus la concentration de NaCl augmente, la longueur de la coléoptile diminue. Ceci concorde avec les résultats obtenus par Kadri et al. (2009) et Ines et al. (2014). La diminution de la croissance de la coléoptile est le résultat au niveau cellulaire d'une baisse du nombre de divisions cellulaires lors des stress abiotiques tels que le stress salin et le stress hydrique (Sané et al., 2005; Rochdi et al., 2005).

Une amélioration de la croissance des coléoptiles et des racines et du nombre des racines élaborées par le blé dur a été révélée en présence de l'endophyte sous stress salins. En effet, Demir et al. (2006) ont rapporté que les semences soumises à des contraintes du milieu ne peuvent pas absorber des quantités suffisantes d'eau et en oxygène qui permettent la croissance de l'embryon.

Selon notre recherche, le processus de bio-priming des graines permet d'améliorer les performances germinatives et la croissance des radicules et des épicotyles dans des conditions de stress salin moyen. Ces données sont en accord avec celles de Kaya et al. (2006). Ainsi, il semble que les bénéfices du bio-priming soient plus prononcés dans des conditions défavorables que dans des conditions optimales (Parera et al., 1994 ; Bradford, 1995). Le bio-Priming peut donc constituer un moyen efficace pour réduire les conséquences du stress salin et encourager la germination et la croissance des plantes.

Notre étude se distingue par l'utilisation du champignon endophyte *Aspergillus niger* dans le processus de bio-priming. Selon Tanou et al. (2012), cette approche pourrait déclencher et contrôler des processus pré-germinatifs, tout en activant de manière intense certains gènes qui jouent un rôle dans la tolérance au stress salin. Le bio-priming peut être assimilé à une acclimatation, puisqu'il s'agit de modifications physiologiques qui se produisent lors d'une exposition progressive à un stress, permettant à la plante de survivre dans un environnement contraignant (Hopkins, 2003).

Conclusion

Conclusion

Ce travail a pour but de contribuer à l'étude des effets de bio priming des graines de blé dur sur la germination en conditions favorables et stressantes. Dans la présente étude, l'amorçage des graines consiste à faire subir aux semences un pré traitement qui permettent la levée de la dormance. Les résultats obtenus dans cette étude nous ont permis de constater que l'amorçage améliore les performances germinatives, et la croissance en conditions normales ou sous stress.

La germination présente les meilleurs taux pour les graines ayant subit un bio priming et même augmente le pouvoir de tolérance de l'endophyte à la salinité. Les racines et les épicotyles se développent mieux dans les conditions normales et sous faible stress salin chez les graines prétraitées par l'endophyte que pour le témoin. En conditions de stress les graines non prétraitées ont une capacité germinative ainsi qu'une croissance limitée des radicules.

L'amorçage permet la synchronisation de la germination, une meilleure vigueur de croissance et surtout une meilleure tolérance au stress salin. Cette technique est recommandée en raison de son faible coût et du non-recours aux produits chimiques qui peuvent être préjudiciables.

Le prétraitement des graines de blé dur avec le champignon endophyte *Aspergillus niger* pourrait contribuer à une agriculture durable dans les conditions de salinité.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdellaoui Z. 2007.** Etude de l'effet de la fertilisation azoté sur propriété techno fonctionnelle des protéines de blé, (Doctoral dissertation, INA) ,16 p.
- ABDELLY C., 2006.** Caractérisation des halophytes pour le dessalement des sols salins et le traitement des eaux salines. Rapport d'activités 2007. Centre de biotechnologie à la technopole de Borj-Cedria, Tunisie, pp. 28-31.
- Abebe A.T., Modi A.T ., 2009.** Hydro-priming of seedin dry bean (*Phaseolus vulgaris* L .,) . Res.j.seedsoci., 2(2):23-31.
- Adel J. and Bader J. 2002.** Studies of some traits related to salinity tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Proceeding of the International Symposium on optimum resources utilization in salt-affected Ecosystems in arid and semi-arid regions, Cairo, Egypt, 102p.
- Ahoton, LE., Adjakpa, JB., M'po Ifonti M'po, & Akpo, EL. 2009.** Effet des prétraitements des semences sur la germination de *Prosopis africana* (Guill., Perrot. et Rich.) Taub., (Césalpiniciacées). *Tropicultura*, 27 (4) : 233-238.
- Aidani, H. 2015.** Effet des attaques de Capucin des grains (*Rhizopertha dominica*) sur les céréales stockées. « Estimation sur la perte pondérale et le pouvoir germinatif Cas de blé dur dans la région de Tlemcen ». Mémoire de Master en Agronomie. Université desFrères Mentouri Abou Bekr Belkaid Tlemcen. 4p.
- Aissani, N. 2019.** Etude comparative des effets du stress salin et hydrique sur la germination et sur le comportement physiologique et biochimique de deux variétés de blé dur.4p.
- Alem C., Labhilili M., BrahmiK., Jlibene M., Nasrallah N. and Filali-Maltouf A.2002.** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biologies* 325: 1097-1109.
- Andéol S.C., Benjamin C., 2016.** Les champignons endophytes: impact sur les écosystèmes et production de molécules d'intérêt thérapeutique. *Science pharmaceutique* .Dumas.
- Anonyme., 2002.** Conseil international des céréales. International Grains Council. World Grains Statistics: 13-17 p.
- Ansari O., Azadi M. S., Sharif-zadeh F. and Younesi E. 2013.** Effect of hormone priming on germination characteristics and enzyme activity of mountain rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress conditions. *J. Stress Physiol Biochem* 9: 61-71.
- APG III. 2009.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean society*141:399-436.

- Arnold, A. E., Miadlikowska, J., Higgins, K. L., Sarvate, S. D., Gugger, P., Way, A., 2009.** A phylogenetic Estimation of trophic transition networks for ascomycetous fungi: are lichens cradles of symbiotrophic fungal diversification? *Syst.Biol.*58, 283–297.
- Arnold.A.E.2007.** Understanding the diversity of foliar endophytic fungi: progress, challenges, and frontiers, *Fungal Biol.Rev.*, 21, pp. 51-66.
- Arnon D.T. 1949.** Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1-15.
- Ashraf M et Harris, 2004.** Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sci.*, 166: 3-6.
- Askri H, Rejeb S., Jebari H., Nahdi H. et Rejeb M.N. 2007.** Effet du chlorure de sodium sur la germination des graines de trois variétés de pastèque (*Citrus lanatus*L.). *Sécheresse* 18(1): 51-55.
- Atici O., Agar G. And Battal P. 2003.** Interaction between endogenous plant hormones and alpha-amylase in germinating chickpeas seeds under cadmium exposure. *Fresenius Environ Bull* 12: 781-785.
- Aubert, G. 1983.** Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques. *Cah. ORSTOM Ser. Péd.*, Vol. XX N°1, pp73-78.
- Azirou A. et Feraoun Z. 2020.** Effet de stress salin sur la croissance et le développement des plantes et stratégies de tolérance ,26P.
- Basra S. M. A., Pannu I. A., Afzal I. 2003.** Evaluation of seedling vigor of hydro and matric primed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *Int. J. Agric. Biol.*,5(2): 121-123.
- Batamouny H., 1993.** Ecophysiology of halophytes and their traditional use in the arab world. *Advanced course on halophyte utilisation. Agriculture*, 12-32, Agadir. Morocco.
- Bayard P., 1991.** Etude de la germination des semences de six espèces herbacées en fonction du régime hydrique, DEA d'agrochimie, Université de Grenoble I, 28p.
- Belhadj M & Bedreddine Z.,-2012-**contribution à l'étude de l'effet de salinité sur quelques variétés locales d'avoines « *Avena Sativa* » (IW78 et préservation). mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état en science Agronomique en production végétal. Université Djilali Liabes Sidi Bel Abbès.
- Belkhodja M. & Bidai Y. 2004.** Réponse de la germination des graines d'*Atriplex halimus* L. sous stress salin. *Sécheresse*, N°4, vol.15, 331-335.
- Belkhouche H, 1992.** Etude de la germination de quelques lignées de pois chiche soumis à la salinité, croissance, anatomie des racines. Thèse D.E.S Biol. Université d'Oran. 68 P.

- Ben Hassine A., Ghanem M.E., Bouzid S. and Lutts S. 2008.** An inland and a coastal population of the Mediterranean xero-halophyte species *Atriplex halimus* L. differ in their ability to accumulate proline and glycinebetaine in response to salinity and water stress. *J. Exp. Bot.* 59: 1315-1326.
- Benzellat benmohamed 2012.** Contribution à l'amélioration des rendements des plantes cultivées en sols salés. Mémoire de magister en sciences agronomiques, Université Boubaker Belkaid, Tlemcen : 170P.
- Blumwald, E., Grover, A., and Good, A.G. 2004.** Breeding for abiotic stress resistance: challenges and opportunities. 2004 « New directions for a diverse planet ». Dans *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress*, 26 September –1 October 2004, Brisbane, Australia. [CDROM]. Web site [www.cropscience.org.au](http://www.cropsscience.org.au).
- Botia P., Carvajal M., Cerda A. and Martinez V. 1998.** Response of eight *Cucumis melo* cultivars to salinity during germination and early vegetative growth. *Agronomie* 18: 503-513.
- Bouaouina S., Zid E. et Hajji M. 2000.** Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.). *CIHEAM–Options Méditerranéennes* : 239-243.
- Bouassabak., Chougui S. 2018.** Effet du stress salin sur le comportement biochimique et anatomique chez deux variétés de piment (*Capsicum Annuum* L.) à Mila/Algérie. *European Scientific Journal*. 14:159-174.
- Boucelha L., Djebbar R. 2015.** Influence de différents traitements de prégermination des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. sur les performances germinatives et la tolérance au stress hydrique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 19(2): 132-144.
- Boucelha L., Djebbar R. and Abrous-Belbachir O. 2019.** *Vigna unguiculata* (L.) Walp. seed priming is related to redox status of plumule, radicle and cotyledons. *Functional Plant Biology.*, DOI : 10.1071/FP18202.
- Bouda S. et Haddioui A. 2011.** Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Nature et Technologie* 5: 72-79.
- Boufenar-Zaghouane F. & Zaghouane O. 2006.** Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). ITGC, 154.
- Boulal H., Zaghouane O., El Mourid M. et Rezgui S. 2007.** Guide pratique de la conduite des Céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed., ITGC., INRA., ICARDA. 176p.
- Bradford K. J. 1986.** Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *Hort Science* 21: 1105-1112.

- Bruce T.J.A., Matthes M.C., Napier J.A., Pickett J.A. 2007.** Stressful “memories” of plants: evidence and possible mechanisms. *Plant Science.*, 173: 603-608.
- Calvet R. 2003.** Le sol propriétés et fonctions, Constitution et structure, phénomènes aux interfaces. Volume1. France Agricole Edition.
- Cao, L., Qiu, Z., You, J., Tan, H., & Zhou, S. 2009.** Isolation and characterization of endophytic Streptomyces antagonists of Fusarium wilt pathogen from surface-sterilized banana roots. *FEMS Microbiology Letters*, 29(2), 190-194.
- Chaves M.M., Flexa J. And Pinheiro C. 2009.** Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany* 103: 551–560.
- Chen K. 2011.** Antioxidants and dehydrin metabolism associated with osmopriming-enhanced stress tolerance of germinating spinach (*Spinacia oleracea L. cv. Bloomsdale*) seeds. Graduate theses and dissertations, Paper 10471, Iowa State University.
- Cheng Z., Bradford K. J. 1999.** Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatments. *J. Exp. Bot.* 33 :89-99.
- Cheverry .CL., 1972.** Contribution à L'étude pédologique des polders du Lac Tchad. Dynamique des sels en milieu aride continental et subaride dans les sédiments argileux et organiques. Thèse doc., Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 275p.
- Chinnusamy V., Schumaker K. and Zhu J.K. 2005.** Molecular genetics perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signalling in plants. *J of Experimental Botany* 55(395): 225-236.
- Clarke .J.M, Norvell W.A ; Clark FR Bouckley T .W 2002.** Concentration of cadmium and other elements in the grain of near –isogenic durum lines. *can .J.plant.Scie. Revue canadienne de phytotechnie* N°82, p.27-33.
- Claydon N., Grove J. F. and Pople M., 1985.** Elm bark beetle boring and feeding deterrents from *Phomopsis oblonga*. *Phytochemistry*; 24: 937-943.
- Clay K. and Schardl C.L., 2002.** Evolutionary Origins & Ecological Consequences of Endophyte Symbiosis with Grasses.
- Clément M., 2020-** le sol, l'épiderme vivant de notre planète.
- Corbineau F., Ozbingol N., Vineland D., Come D., 2000.** Improvement of tomato seed germination by osmopriming as related to energy metabolism. In black M, Bradford KJ, Vasquez-Ramos J (Eds). *Seed biology Advances and Applications: proceeding of the sixth international Workshop on seeds, Merida ,Mexico ,1999.* New York, NY: cabi. 467-474.

- Debary A. 1866.** Morphology and physiology of fungi, lichens and myxomycetes. Engelmann, Leipzig.
- Debez A., Koyro H.W., Grignon H., Abdelly C. and Huchzermeyer B. 2008.** Relationship between the photosynthetic activity and the performance of *Cakile maritima* after long-term salt treatment. *Physiol. Plant* 133: 373-385.
- Debiton, C. 2010.** Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum L.*) Favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy. Thèse de Doctorat Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand France, 132 p. des polysaccharides du son et de la paille de blé. Thèse doctorat, Université Toulouse, 229p.
- Djermoun A., 2009.** La production céréalière en Algérie: les caractéristiques, *Revue nature et technologie*, n° 01, p45 à 53.
- Duan D., Liu X., Ajmal N.M. and Gul B. 2004.** Effects of salts and water stress on germination of *Chenopodium glaucum* L. seed. *Pack. J. Bot.* 36(4): 793-800.
- Egamberdieva D, Alqarawi A, Elsayed F. And Abeer H., 2017.** Phytohormones and Beneficial Microbes: Essential Components for Plants to Balance Stress and Fitness. *Front. Microbiol.*
- Epstein E., Norlyn J.D., Ruch D.W Kingsburu R.W., Cunnigham A .F& Et Wrona A.F.,(1980).** saline culture of crops :A genetic pproach. *science*,210,399- 404p.
- Escudier, B., Porta, C., Schmidinger, M., Rioux-Leclercq, N., Bex, A., Khoo, V., ...& Horwich, A. 2019.** Carcinome rénal : lignes directrices de pratique clinique de l'ESMO pour le diagnostic, le traitement et le suivi. *Annales d'oncologie*, 30 (5), 706-720.
- Esfandiari E., Shekari F. and Esfandiari M. 2007.**The effect of salt stress on antioxidant enzymes activity and lipid peroxidation on the wheat seedling. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.* 35 (1): 48-56.
- FAO., 2008.** Annuaire statistique de la F.A.O.
- FAO., 2019.** Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales.
- FAO., 2024.** Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales.
- Farooq M, Basra SMA, Khan MB 2007.** Seed priming improves growth of nursery seedlings and yield of transplanted rice. *Arch Agron Soil Sci* 53:311–322.

- Feddaoui Houda, B. I. 2018.** Enquête épidémiologique des principaux pathogènes prévalent sur certaines céréales depuis 2009.
- Feillet, P. 2000.** Le grain de blé: composition et utilisation. Paris, France : Editions Quae.
- Flowers T.J. Galal H.K. and Lindell B. 2010.** Evolution of halophyte: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Funct.Plant. Biol.* 37: 604–12.
- Flowers T.J. and Colmer T.D. 2008.** Salinity tolerance in halophytes. *New Phytol.* 179: 945-963.
- Flowers T.J. et Flowers S.A., 2005.** Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders. *Agricultural water management.* Vol. 78. N° 1-2: 15-24.
- Fortin J.A., Plenchette C. et Piché Y. 2008.** Les mycorhizes. La nouvelle révolution verte. MultiMonde Quae. (Eds.), Québec, 131 p.
- Foyer C.H. and Noctor G. 2005.** Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant Cell and Environment* 28(8): 1056-1071.
- FU J.R., Lu X.H., Chen R.Z., Zhang B.Z., LIU Z.S., Cai D.Y., 1988.** Osmoconditioning of peanut (*Arachishypogaea L.*) seeds with PEG to improve vigour and some biochemical activities. *SeedSci. Technol.*, 16 : 197-212.
- Gate P. et Giban M. 2003.** Stades du blé. Ed. Paris, ITCF, 68p.
- Gelormini G., 1995.** Optimisation des propriétés germinatives des graines de colza par initilisation : aspects méthodologiques et fondamentaux, Thèse nouveau doctorat, 171p.
- Ghassemi-Golezani K., Chadordooz-Jeddi A., Nasrullahzadeh S., Moghaddam M. 2010.** Influence of hydro-priming duration on field performance of pinto bean (*Phaseolus vulgaris L.*) cultivars. *African Journal of Agricultural Researc.*, 5(9): 893-897p.
- Ghrib C.D., Kchaou R., Gharbi F., Rejeb S., Khoudja L. et Nejib Rejeb M. 2011.** Tolérance à la Salinité de Trois Espèces d'Eucalyptus Aux Stades Germinatif et Plantule, *European Journal of Scientific Research* 50(2): 208-217.
- Gill P.K., Sharma A.D., Singh P. and Bhullar S.S. 2003.** Changes in germination, growth and soluble sugar contents of Sorghum bicolorL. Moench seeds under various abiotic stresses. *Plant Growth Regulation* 40(2): 157-162.

- Girard M.C., Walter C., Remy J.C., Bertbel J et Morel J.L., 2005.** Sols et environnements, cours, exercices et études de cas. Ed. : Dunod, Paris. 475p I.T.G.C., 2013- Culture de l'orge, l'institut technique des grandes cultures.
- Gratão P. L., Polle A., Lea P. J. and Azevedo R. A. 2005.** Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Funct Plant Biol* 32: 481-494.
- Gravel V., Antoun H., Tweddell R.J., 2007.** Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil Biol. Biochem.* 39, 1968–1977pp.
- Groome M.C., Axler S. and Gfford D.J. 1991.** Hydrolysis of lipid and protein reserves in loblolly pine seeds in relation to protein electrophoretic patterns following imbibition. *Physiologia plantarum* 83: 99-106.
- Guergueb.M., 2023.** Effet du prétraitement sur l'amorçage de la germination sous stress salin de quelques géotypes de blé dur. Projet de fin d'études En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Agronomie Option biotechnologie et valorisation des plantes Université Mohamed Khider de Biskra.
- Halitim A., 1988.** Sol des régions arides d'Algérie. O.P.U., Alger, 384p.
- Hamadache A. 2013.** Eléments de phytotechnie générale-Grandes Cultures-Tome 1: le blé, 11-49.
- Hamdy A. 2004.** Non-Conventional salinity and saline irrigation practices and management. IAMB. Italy. CIHEAM. 199P.
- Harman G.E., Howell C.R. Vitarbo A., Chet I. and Lorito M. 2004.** *Trichoderma* species opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology* 2: 43–56.
- Harman G.E., 2000.** Myths and dogmas of biocontrol : changes in perceptions derived.
- Hasan M. I., Kibria M. G., Jahiruddin M., Murata Y. & Hoque M. A. 2015.** Improvement of Salt Tolerance in Maize by Exogenous Application of Proline. *Journal of Environmental Science and Natural Resources* 8(1), 13-18.
- Hassani, A., Dellal, A., Belkhodja, M. et Kaid-Harche, M. 2008.** Effet de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum Vulgare L*) *European Journal of Scientific Research*. Vol.23, n°1, pp.61-69.

- Hebrard C. 2012.** Contrôle épigénétique de l'induction et de la tolérance à la montaison chez la betterave sucrière. Thèse de doctorat, Université d'Orléans. France. 285 p.
- Herrera. D., Bettina A., Rubén., Silvia R., Mariano.,2008.** SanzAntimicrobial therapy in periodontitis: the use of systemic antimicrobials against the subgingival biofilm.
- Heydecker W., Higgins J., Gulliver R. L.,1973.** Accelerated germination by osmotic seed treatment. *Natur.*, 246 : 42-44.
- Hillel D.,2000.** Salinity Management for Sustainable Irrigation. The World Bank, Washington, D.C.
- Hodgson S., de Cates C., Hodgson J., Morley NJ., Sutton BC., Gange AC., 2014.** Vertical transmission of fungal endophytes is widespread in forbs. *Ecol Evol.* ; 4(8) : 1199–208.
- Hopkins W.G. 2003.** *Physiologie Végétale.* Traduction de la 2ème édition américaine par Serge .R. Ed. de Boeck, pp.309-362.
- Horie T., Kaneko T., Sugimoto G., Sasano S.,Panda S.K., ShibasakaM. and Katsuhara M.2011.** Mechanisms of water transport mediated by PIP aquaporins and their regulation via phosphorylation events under salinity stress in barley roots. *Plant and Cell Physiology* 52(4): 663-675.
- Hsiao T.C., O'Toole J.C., Yamba E.B. And Turner N.C. 1984.** Influence of Osmotic adjustment on Leaf Rolling and Tissue Death in Rice (*Oryza sativa L.*), *Plant Physiol.* 75: 338-341.
- Hu Y. F., ZhouG., Nax F., Yang A., Nan W., Zhang Y., Lijl andBiy. (2013).** Cadmium interferes with maintenance of auxin homeostasis in Arabidopsis seedlings. *J. Plant Physiol.* 170: 965-975.
- Huang S., Sirikhachornkit A., Su X., Faris J., Gill B., Haselkorn R. and Gornicki P. 2002.** Genes encoding plastid acetyl-CoA carboxylase and 3-phosphoglycerate kinase of the Triticum/Aegilops complex and the evolutionary history of polyploidy wheat. *Proceedings of the national academy of science of the USA* 99: 8133-8138.
- Huang W. Y., CaiY.Z., Hyde K. D., Corke H. Et Sun M.2008.** Biodiversity of endophytic fungi with 29 traditional Chinese medicinal plants. *Fungal Diversity*; 33: 61-75.
- Hyde K.D. et Soyong K. 2008.** The fungal endophyte dilemma. *Fungal Diversity*; 33: pp 163-173.
- Imran A., Khan Z.S., Shomaila S., Shaheen S., 2019.** Plant beneficial endophytic bacteria: Mechanisms, diversity, host range and genetic determinants.-*Microbiological Research*,p.p.36 49.

- Iyengar E. R. R., Reddy M.P., 1996.** Photosynthesis in high salt tolerant plants. In: Pesserkali, M. (Ed.). Hand Book of Photosynthesis. Marshal Deker. Baten Rose,USA: 56-65.
- Jalgaonwala R.E., Mohite B.V. et Mahajan R.T. 2010.** Evaluation of endophytes for their antimicrobial activity from indigenous medicinal plants belonging to north Maharashtra region India. International Journal on Pharmaceutical and Biomedical Research.1: pp 136-141.
- Jamil M., Lee C.C., Rehman S.U., Lee D.B., Ashraf M. and Rha E.S. 2005.** Salinity (NaCl) tolerance of Brassicaspecies at germination and early seedling growth. Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry 4: 970-976.
- Jie L, Gong She L,Dong Mei O, Fang Fang L, En Hua W. 2002.** Effet du PEG sur la germination et le métabolisme actif de l'oxygène dans les semences de la gaulthérie (*Leymu.7 chinensis*). ActaPrataculturaeSinica11 59-64.
- Jowkar M., Ghanbaria., Moradfi F., Heidari M., 2012.** Alterations in seed vigor and antioxidant enzymes activities in silybummarianum under seed priming with KNO₃.J.Med.Plants Res .,6(7):1176-11804.
- Kadri K., Maalam S., Cheikh M.H., Benabdallah A., Rahmoune C. et Ben Naceur M. 2009.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques accessions Tunisiennes d'orge (*Hordeum vulgare L.*). Science and Technologie 29: 72-79.
- Kao, R.K. Jaiswal, W. Kolch, Landreth, G.E. 2001.** Identification of the mechanisms regulating the differential activation of the mapk cascade by epidermal growth factor and nerve growth factor in pc12 cells.J. Biol. Chem, 276: 18169-18177.
- Karmous, C. 2007.** Contribution à l'étude des mécanismes de tolérance à la salinité au stade juvénile chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*): aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Thèse de doctorat en agronomie et science de la production végétale. INAT, Tunis: 211p.
- Kaul S., Gupta S., Ahmed M., Dhar M.K., 2012.** Endophytic fungi from medicinal plants: a treasure hunt for bioactive metabolites. Phytochemistry Reviews., 11:487-505.
- Kaya M.D. et al., 2006.** Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus L.*). Eur. J. Agron., 24, 291-295.
- Kaymakanova M. and Stoeva N. 2008.** Physiological reaction of bean plants (*Phaseolus vulg. L.*) to salt stress. Gen. Appl. Plant Physiology Special 34: 3-4.
- Khan AA.1992.** Preplant physiological seed conditioning.Horticultural Reviews. 1992; 13(1):131-81.

- Khan. AA., Taokl., Knypl JS., Borkowska B., Powell LE., 1978.** Osmotic conditioning of seed : physiological and biochemical changes. *Acta Horticulturae* 83 : 267-278.
- Kharwar, R.N., Mishra, A., Gond, S.K., Stierle, A., Stierle, D., 2011.** Anticancer compounds derived from fungal endophytes: their importance and future challenges.
- Kim, J. C., Choi, G. J., Park, J. H., & Kim, H. T. 2007.** Biocontrol activity of *Paenibacilluspolymyxa* AC-1 against *Phytophthora* blight on hot pepper. *Journal of Applied Microbiology*, 102(4), 902-912.
- Klich, M. A. 2002.** Identification of common *Aspergillus* species. Centraalbureau voor Schimmelcultures (CBS), Utrecht, The Netherlands.
- Kouadria R., 2019.** Contribution des champignons endophytes à la tolérance aux facteurs adverses (biotiques et abiotiques) des espèces cultivées : isolement des champignons endophytes et étude de leur contribution à la tolérance à la salinité ou à des polluants, 195p.
- Kurban, H.H. Saneoka, K. Nehira, R. Adila, G. Premachandra, S. and Fujita, K. (1999).** Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant *alhagi pseudoalhagi* (bieb.). *Soil Sci. Plant Nutr*, 45: 851-862.
- KusariS., Christian H.,MichaelS.,2012.** Chemical ecology of endophytic fungi: origins of secondary metabolites.
- Lahouel H., 2014-**Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur le rendement des céréales (cas de l'orge) dans la région de Hemadna à Relizane. *Projet de fin d'études En vue de l'obtention du Diplôme de master en Agronomie Option Amélioration végétale Université d'ABOU-BEKRBELKAID Tlemcen.*
- Langner M., Lisiane D., Felice S., Schünemann R., Knaak N., 2018.** Benefits Associated with the Interaction of Endophytic Bacteria and Plants. *Vol.61:pp 1-11.*
- Lata R., Chowdhury S., Surendra K., Gond, White J.r., 2018.** Induction of abiotic stress tolerance in plants by endophytic microbes. *Review Article.25p.*
- Legros J.P., 2009.** La salinisation des terres dans le monde. *Académie des Sciences et Lettres de Montpellier*, 2009, <http://academie.biu-montpellier.fr/>, conférence n°4069, *Bull. n°40*, p. 257-269.
- Lemekeddem., Debbach H. 2014.** Synthèse bibliographique sur l'effet du stress sur la germination de blé. *Mémoire de Master. Algérie : Université Kasdi Merbah, Ouargla*, 23-28.
- Lesage, V. 2011.** Contribution à la validation fonctionnelle du gène majeur contrôlant la dureté/tendreté de l'albumen du grain de blé par l'étude de lignées quasi-isogéniques. *Thèse 40 de doctorat présenté à l'université Blaise Pascal pour l'obtention du grade de docteur d'université*, pp : 17-18.

- Levigner A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P. et Casse-Delbart F. 1995.** Les plantes face au stress salin. CahiersAgricultures 4(4): 263-273.
- Li F.S., Kang S.Z. and Zhang J. 2004.** Interactive effects of elevated CO₂, nitrogen and drought on leaf area, stomatal conductance, and evapotranspiration of wheat. Agricultural Water Management 67: 221-233.
- Lopez-Climent M.F., Arbona V., Péerez-Clemente R.P. and Gomez-Cadenas A. 2008.** Relation ship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. Environmental and Experimental Botany 62: 176–184.
- Lutts S., Benincasa P., Wojtyla L., Kubala S., Pace R., Lechowska K., Quinet M., Garnczarska M. 2016.** Seed Priming: New Comprehensive Approaches for an Old Empirical Technique. In: Susana Araujo, Alma Balestrazzi (Eds.), New Challenges in Seed Biology-Basic and Translational Research Driving Seed Technology.contaminated soil. Water Air Soil Pollution. 2014; 225:1-15. DOI: 10.1007/s11270-014-1905-1.
- Maas E. V. and Poss, J. A. 1989.** Salt sensitivity of wheat at various growth stages. Irrig. Sci., 10: 29-40.
- Maillard J., 2001.** Le point sur l’Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34 p. Masson, Paris, 244p.
- Mansouri A. 2011.** Les champignons endophytes chez le blé dur (*Triticum durum.Desf*): occurrence et rôle dans la tolérance au stress hydrique. pp : 17-22.
- Maroufi K., Farahanih.A., Moradi O., 2011.** Increasing of seedling vigor by hydro priming method in cowpea (*Vignasinensis. L*) Advanc. Int. Environ.bio., 5(11):3668-3671.
- Martinuz A.,Schouten A.,Menjivar R.D.,&Sikora R.A.,2012.** Effectiveness of systemic resistance toward *Aphis gossypii*(Hom., Aphididae) as induced by combined applications of the endophytes *Fusarium oxysporum* Fo162 and *Rhizobium etli* G12. Biological Control .,62:206-212.
- Masood A., Iqbal N. and Khan N. A. 2012.** Role of ethylene in alleviation of cadmium-induced capacity inhibition by sulphur in mustard. Plant Cell Environ 35: 524-533.
- Mauromicale G. et Licandro P. 2002.** Effet de la salinité et des températures sur la germination, l’émergence et la croissance des plantules d’artichauts. Agronomie 22: 443-450.
- Mayer AM, Poljakoff-Mayber A. 1989.** The Germination of Seeds, 4 edn. Pergamon Press, Oxford.
- Mazliak P. 1998.** *Physiologie végétale II : Croissance et Développement.* Hermann ed, Paris.
- McDonald M.B. 2000.** Seed priming. In Black M and Bewley J.D. (eds.), Seed technology and its biological basis. Sheffield Academic Press Ltd, Sheffield, England, pp. 287-325.

- Mermoud A., 2006**-Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.23p.
- Misra N. and Gupta A.K. 2004.** Effect of salt stress on proline metabolism in two high yielding genotypes of green gram. *Plant Sci.* 169: 331.
- Moosavi A, Tavakkol Afshari R, Sharif-Zadeh F, Aynehband A. 2009.** Effect of seed priming on germination characteristics, polyphenoloxidase, and peroxidase activities of four amaranth cultivars. *J. Food Agri. Environ.* 7 353-358.
- Moricca S. Et Ragazzi A. 2008.** Fungal endophytes in Mediterranean oak forests: a lesson from *Discula quercina*. *Phytopathology* 98: pp 380-386.
- Moslem F., Basset C., Douaifia R., 2022.** Etude Comparative Entre Les Effets Des Huile Essentielles D'Une Plante Médicinale Et Un Produit De Synthèse De La Germination (Blé Dur).3p.
- Munns R. 2008.** Sodium excluding genes from durum wheat and sea barleygrass improves sodium exclusion of bread wheat. and International Salinity Forum Salinity, water and society-global issues, local action.
- Munns R et al ., 1983.** Halotolerante ukaryotes. In *Physiological Plant Ecology.III. Responses to the Chemical and Biological Environment.*Encycl. *Plant Physiol.*, pp. 59-135 New Series, Vol. 12C.Springer, Berlin.
- Munns, R. et Termaat, A. 1986.**Whole plant response to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 143-160.
- Murungu FS, Chiduzza C, Nyamuga P, Clark LJ, Whalley WR, Finch WE 2004.** Effects of on-farm seed priming on consecutive daily sowing occasion on the emergence and growth of maize in semi-arid Zimbabwe. *Field Crop Res* 89:49–57.
- Naidoo G. And Kift J. 2006.** Responses of the salt marsh rush *Juncus Kraussil* to salinity and waterlogging. *Aquatic Botany* 84: 217-225.
- Navarro-Pedreno J., Jordan M. M., Melendez-Pastor I., Gomez I., Juan P, and Mateu J., 2007.** Estimation of soil salinity in semi-arid land using a geostatistical model. *Land Dégradation Développement*, 18: 339–353.
- Nouri, L. 2002.** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*), en condition de déficit hydrique. Mémoire de Magistère. Université des frères Mentouri Constantine. 77p.
- Oses R., Valenzuela S., Freer J., Sanfuentes E. and Rodriguez J.** Fungal endophytes in xylem of healthy Chilean trees and their possible role in early wood decay. *Fungal Diversity* 2008; 33: 77-86.

- Othman Y., Al-Karaki G., Al-Tawaha A.R. and Al-Horani A. 2006.** Variation in germination and ion uptake in barley genotypes under salinity conditions. *World J. Agric. Sci.* 2: 11-15.
- Ottow E.A., Brinker M., Teichman T., Fritz E., Kaiser W., Broské M., Kangasjarvi Jiang X. and Ppille A. 2005.** *Populus euphratica* Sodium Accumulation, osmotic adjustment by decreases in develops leaf succulence under salt stress. *Plant Physiology* 139: 1762-1772.
- Ouerghi Z., Zid E., Hadji M. et Soltani A. 2000.** Comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum L.*) en milieu salé. In Royo C., Nachit M.M., Difonzo N. and Araus JL.(Eds). *Durum wheat improvement in the mediterranean region: New challenges: l'amélioration du blé dur dans la région méditerranéenne: Nouveaux défis.* Zaragoza: CIHEAM. IAMZ: 309-313.
- Ouerghi F., Ben-Hammouda M., Teixeira Da Silva J.A., Albouchi A., Bouzaïen G., Aloui S. and Nasraoui B. 2015.** The effects of vapor gard on some physiological traits of durum wheat and barley leaves underwater stress. *Agriculturae Conspectus Scientificus (ACS)* 79(4): 261-267.
- Ouhaddach, M., ElYacoubi, H., Douaik, A., Hmouni, D., & Rochdi, A. 2016.** Réponse à la salinité de quelques paramètres physiologiques et biochimiques du Blé (*Triticum aestivum L.*) au stade montaison.
- Oustani M. 2006.** Contribution à l'étude de l'influence des amendements organiques sur les propriétés microbiologiques des sols sableux non salés et salés dans les régions Sahariennes (Cas de Ouargla). Thèse Magister. Université Ouargla. 187p.
- Ozenda P. 1983.** Flore du Sahara. 2ème Edition. Ed. CNRS, Paris, 622 p.
- Pandey K., Singh M., Kumar A., Singh R., 2017.** Endophytic bacteria: a new source of bioactive compound.
- Parera CA, Cantliffe DJ 1994.** Pre-sowing seed priming. *Horticultural Reviews*, 16: 109-141.
- Parida, A.K. and Das A.B. 2005.** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60: 324-349.
- Petrini O. 1991.** Fungal endophytes of tree leaves. In: *Microbial Ecology of Leaves* (eds) Andrews, J.H. and Hirano, S.S. Springer-Verlag, New York, New York, USA, 179-197.
- Phetcharat, P., Duangpaeng, A., 2012.** Screening of endophytic bacteria from organic rice tissue for indole acetic acid production. *Procedia Eng.* 32, 177–183p.p.
- Pimentel M.R., Molina G., Dionisio A.P., Maroostica Junior M.R et Pastore G.M. 2011.-** The use of endophytes to obtain bioactive compounds and their application in biotransformation process. *Biotechnol Res Int.*

- Pomeranz Y. 1988.** Chemical composition of kernel structures. Wheat: chemistry and technology. 1: 97-158.
- Porcel, R., Aroca, R., & Ruiz-Lozano, J. M. 2011.** Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 181-200.
- Prado F.E., Baero C., Gallardo M. And Gonzalez J.A. 2000.** Effect of NaCl on germination, growth, and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd seeds. *Botanical Bulletin Academia Sinica*. 41: 27-34.
- Prior L.D., Grieve A.M., Bevington K.B. And Slavich P.G. 2007.** Long-term effects of saline irrigation water on 'Valencia' orange trees: relationships between growth and yield, and salt levels in soil and leaves. *Crop and Pasture Science*, 58(4), 349-358.
- Rafiq S., Iqbal T., Hameed A., Zulfiqar Ali R. and Rafiq N. 2006.** Morpho biochemical analysis of salinity stress response of wheat, *Pakistan Journal of Botany* 38: 1759-1767.
- Raghavendra, A.K.H., Newcombe, G., 2013.**The contribution of foliar endophytes to quantitative Resistance to *Melampsora rust*. *New Phytol*.
- Ramad., 2002-**Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 22eme édition .ED. Sciences et techniques agricoles 471p.
- Rampino P., Mita G., Fasano P., Borrelli G.M., Aprile A., Dalessandro G. and Perrotta C.2012.** Novel durum wheat genes up-regulated in response to a combination of heat and drought stress. *Plant physiology and biochemistry* 56: 72-78.
- Reddy P., 2012.** Biopriming of seeds.In: Recent advances in crop protection. Springer, New Delhi.978-81-322-0723-8.
- Rivero R.M. Teresa C.M., Mittler R. Francisco Rubio F. Garcia-Sanchez F. and Martinez V. 2014.** The combined effect of salinity and heat reveals a specific physiological, biochemical and molecular response in tomato plants *Plant, Cell and Environment* 37: 1059–1073.
- Robert. M, 1996.** Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Ed.
- Rodriguez R.J., White J.F., Arnold A.E., et Redman R.S.,2009.** Fungal endophytes diversity and functional roles. *New Phytologist* 182 : 314–330.
- Rush D.W. and Epstein E. 1981.** Breeding and selection for salt-tolerance by incorporation of wild germplasm into a domestic tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*106: 699-704.
- Saeed R., Ahmad R., Mirbahar A. A. and Jehan B. 2014.** Germination indices of egg plant (*Solanum melongena* L.) under sea saltsalinity. *Int. J. Biol. Biotech* 11(1): 51-55.

- Saikkonen K., Helander M. and Faeth S.H. 2004.** Fungal endophytes: high-hikers of the green world. In: Gillings M. and Holmes A. J.(Eds). Plant microbiology. Garland Science; pp. 81-101.
- Salmi., M et Merbah., S.** Etude de la qualité globale de semoules du commerce algérien mémoire d'ingénieur en agronomie spécialité: technologie alimentaire.
- Samson, R. A., Hoekstra, E. S., & Frisvad, J. C. 2004.** Introduction to food- and airborne fungi (7th ed.). Centraalbureau voor Schimmelcultures (CBS), Utrecht, The Netherlands.
- Sané D., Ould K.M., Diouf D., Diouf D., Badiane F.A., Sagna M. and Borge A. 2005.** Growth and development of date palm (*Phoenixdactylifera L.*) seedlings under drought and salinity stresses. African Journal of Biotechnology 4(9): 968-972.
- Santiago, LS., Lau T,S., Melcher ,P.J., Steeleo, C., and Goldestein, G. 2000.** Morphological and physiological responses of hawiiian Hibiscus tiliaceus populationsto light and salinity, Int. J. Plant Sci. 161, pp. 99-106.
- Sayar, R., Bchini, H., Mosbahi, M., & Ezzine, M. 2010.** Effects of salt and drought stresses on germination, emergence and seedling growth of durum wheat (*Triticum durum Desf.*). African Journal of Agricultural Research, 5(15), 2008-2016.
- Scippa G., Di Michele M., Onelli E., Patrignani G., Chiatante D. and Bray E. 2004.** The histone-like protein H1-S and the response of tomato leaves to water deficit. J.Exp.Bot. 55:99-109.
- Selosse M. A. and Schardl C. L., 2011.** Fungal endophytes of grasses: hybrids rescued by vertical transmission? An evolutionary perspective. New Phytologist.
- Sentenac, H., & Berthomieu, E. P. 2003.** Découverte d'un nouveau mécanisme de tolérance des plantes ausel. UMR Biochimie et physiologie moléculaire des plantes (Unité mixte Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier/Université/CNRS/INRA) Service Presse INRA.
- Servant J.M., 1971.** Le profil salin des sols, méthodes d'études et signification. Application aux sols halomorphes du midi de la France. Ann. Agro. 24.3, 392 p.
- Servant. J.M., 1970.** Etude expérimentale des conditions salines sur la perméabilité des sols, conséquences pédologiques, science du sol. p.p.85.105.
- Shi, Y., Yang, H., Zhang, T., Sun, J., Lou, K., 2014.** Illumina-based analysis of endophytic bacterial diversity and space-time dynamics in sugar beet on the north slope of Tianshan mountain. Appl. Microbiol. Biotechnol.98, 6375–6385.

- Shipunov A., Newcombe G., Raghavendra A.K.H. et Anderson C. L. 2008.** Hidden diversity of endophytic fungi in an invasive plant. *American Journal of Botany*; 95: 1096-1108.
- Shrivastava P. and Kumar R. 2015.** Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi J. Biol. Sci.* 22(2): 123-131.
- Silveira J.A.G., Araujo S.A.M., Santos-Lima J.P.M. and Viégas R.A. 2009.** Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia*. *Environmental and Experimental Botany* 66: 1–8.
- Soltner D. 2005.** Les grandes productions végétales .Ed. Collection sciences et techniques agricoles, 472p.
- Still D.W., Bradford K.J., 1997.** Endo-mannanase activity from individual tomato endosperm caps and radicle tips in relation to germination rates .*Plant physiology*. 113:21-29.
- Strobel G., Daisy B., Castillo U. et Harper J. 2004.** Natural products from endophytic microorganisms. *Journal of Natural Products*. 67: pp 257-268.
- Sung G.H., Lücking R., Lumbsch T., O'donnell K., Binder M., Diederich P., Ertz D., Gueidan C., Hansen K., Harris R.C., Hosaka K. Lim Y.W., Matheny B., Nishida H., Pfister D., Rogers J., Rossman A., Schmittl., Sipman H., Stone J., Sugiyama J., Yahr R., et Vilgalys R., 2007.** Assembling the Fungal tree of life: progress, classification, and evolution of subcellular traits *American Journal of Botany* 91(10): 1446–1480.
- Surendra K.G., Ashish M., VIJAYK.S., Sharma S.K.V., Jiedra I K., Ravindra N.K. et Anujk K. 2011.** Diversity and antimicrobial activity of endophytic fungi isolated from *Nyctanthes arbor-tristis*, a well-known medicinal plant of India. 53: pp113-121.
- Surget, A ; Barron, C, 2005.** Histologie du grain de blé, *Industrie des céréales* n°145, Pp47.
- Suryanarayanan, T.S., Thirunavukkarasu, N., Govinda rajulu, M.B., Sasse, F., Jansen, R., Murali, T.S., 2009 .** Fungal endophytes and bioprospecting. *Fungal Biol.*
- Tanou G., Fotopoulos V., Molassiotis A. 2012.** Priming against environmental challenges and proteomics in plants: update and agricultural perspectives. *Frontiers in plant science.*, 3(216): 1 5.
- Tapper B & Lane G.A., 2004.** Janthitrems in a *Neotyphodium* endophyte of perennial ryegrass. 5th international endophyte symposium, pp:105-108.

- Tarquis A.M., Bradford K.J. 1992.** Prehydration and priming treatments that advance germination also increase the rate of deterioration of lettuce seeds. *Journal of Experimental Botany.*, 43: 307-317.
- Tavakkoli E., Fatehi F., Coventry S., Rengasamy P. and McDonald G.K. 2011.** Additive effects of Na⁺ and Cl⁻ ions on barley growth under salinity stress. *Journal of Experimental Botany* 62 (6): 2189-2203.
- Taylor A. G., Harman G. E. 1990.** Concepts and technologies of selected seed treatments. *Ann. Rev. Phytopathol* 28: 321-339.
- Taylor, A. G., Allen, P. S., Bennett, M. A., Bradford, K. J., Burrisand, J. S., & Misra, M. K. 1998.** Seed enhancements. *Seed.Sci. Res.*, 245-256.
- Taylor G., Harman G.E. 1990.,** Concepts and technologies of selected seed Treatments. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 28: 321-339.
- Toorop P.E., Van-Aelst A.C., Hilhorst H.W.M., 1998.** Endosperm cap weakening and endo-p mannanase activity during priming of tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Moneymaker) seed are initiated upon crossing threshold water potential. *Seed Science Research.*, 8:483-491.
- USDA. 2023.** National Nutrient Database for Standard Reference Release 26 Full Report (All Nutrients) Nutrient data 2023, Spices, coriander seed.
- Varier A., Vari A. K., Dadlani M. 2010.** The subcellular basis of seed priming. The authors are in the Indian Agricultural Research Institute. *Current Science* 99(4-25): 450-45.
- Vega F.E., Posada F., Aime M.C., Ripoll M.P, Infante F. et Rehner S.A. 2008.-** Entomopathogenic fungal endophytes. *Biological Control.* 46: 72-82.
- Vennetier M., Ripert C., Brochiero F., Rathgeber C., Wattanakulpakin P., Photchanachai S., Ratanakhanokchai K., Kyu K.L., Ritthichai P., Miyagawa S., 2012 .** hydropriming effects on carbohydrate metabolism, antioxidant enzyme activity and seed vigor of maize (*Zea mays L.*). *Afr. J. Biotechnol.*, 11(15):3537-3547.
- Waller F., Achatz B., Baltruschat H., Fodor J., Becker K., Fischer M., Heier T., Huckelhoven R., Neumann C., Von W.D., Franken P. et Kogel K. H. 2005.** The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*; 102: 13386-13391.
- Waqas M., Khan A.L., Lee I.J., 2014.** Constituants chimiques bioactifs produits par les endophytes et effets sur la croissance des plants de riz. *J Plant Interact* 9: 478-487.
- Wearn J., Hodgson S., Wendt H., Broughton S., Jin L., 2014.** Foliar fungal endophytes in herbaceous plants :a marriage of convenience? In: *Advances in endophytic research* (Osono T).

- Webber J. A., 1981.** Natural control of Dutch elm disease. *Nature*, London; 292: 449-451.
- Wei Y., Dong M., Huang Z. and Tan D. 2008.** Factors influencing seed germination of *Salsola affinis* (*Chenopodiaceae*), a dominant annual halophyte inhabiting the deserts of Xinjiang, China. *Flora* 203: 134-140.
- Yadav A., 2019.** Endophytic Fungi for Plant Growth Promotion and Adaptation under Abiotic Stress Conditions. *ACTA SCIENTIFIC AGRICULTURE* (ISSN: 2581365X)3(1).91-93p.p.
- Yari L., Aghaalikani M., Khazaei F. 2010.** Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of bread wheat (*Triticum Aestivum*L.). *Journal of Agricultural and Biological Science.*, 5(1): 1-6.
- Yeo A.R. 1998.** Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *Journal of Experimental Botany* pp 915-929.
- Yoshida Y., Marubodee R., Ogiso-Tanaka E., Iseki K., Isemura T., Takahashi Y. And Ehara H. 2015.** Salt tolerance in wild relatives of adzuki bean, *Vigna angularis* (Willd.) Ohwi et Ohashi. *Genetic Resources and Crop Evolution* 1-11.
- Zabalgozcoa I., 2008.** Fungal endophytes and their interaction with plant pathogens. *Journal of Agricultural Research*; 138-146.
- Zeitoun R.2011.** Procédés de fractionnement de la matière végétale-Application de la production.
- Zhao K.,Tung C-W., Eizenga GC., et al., 2011.** Genome-wide association mapping reveals a rich genetic architecture of complex traits in *Oryza sativa*. *Nature Communications*2, 467p.
- Zhao S., Zhang Q., Liu M., Zhou H., Ma C., Wang P.** Regulation of plant responses to salt stress. *Int. J.MoL. Sci.*2021;22.
- Zhu J.K. 2003.** Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in plant biology*, 6: 441-445.
- Zörb C., Noll A., Karl S., Leib K. and Yan F. 2005).** Molecular characterization of Na⁺/H⁺-antiporters (ZmNHX) of maize (*Zea mays* L.) and their expression under salt stress. *J. Plant Physiol.* 162: 55-66.