



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences nature et de la vie, des sciences de la  
Terre et de l'univers  
Département des sciences de la nature et de la vie  
Filière : Biotechnologie

Référence ..... / 2025

# MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité : Biotechnologie et valorisation des plantes

Présenté et soutenu par :  
**HALIMA ACHRAF et MEDOUAKH MERIEM**

Le: lundi 2 juin 2025

## **Effets des traitements prégerminatifs sur la tolérance au stress salin au stade de germination chez le blé dur (*Triticum durum Desf*)**

### **Jury :**

Dr. OTMANI I	MCB	Université de Biskra	Président
Dr. BELKHARCHOUCHE H	MCB	Université de Biskra	Rapporteur
Dr. NEFOUCI F	MAA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2024 / 2025

## Remerciement

*Nous remercions avant tout ALLAH tout puissant, de m'avoir guidé, donné la volonté, et le courage de reprendre mes études après tant d'années.*

*ALHAMDOLILLAH pour l'achèvement de notre mémoire de fin d'études. tout d'abord , nous adressons nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à notre enseignante et encadrante exceptionnelle **Mme .Belkharchouche Hafida**, maitre de conférences à l'université Mohamed khider de Biskra ,au département des sciences de la nature et de la vie ,pour tout ce qu'elle nous a offert en matière de conseils, de soutien, d'encouragement ainsi que pour son engagement constant à nous pousser vers l'excellence tout au long de cette l'élaboration de ce **mémoire***

*Nous tenons également à remercier vivement les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et évaluer ce modeste travail.*

*Nous adressons également nos sincères remerciement et notre reconnaissance à tout nos professeurs qui nous ont permis d'acquérir beaucoup de connaissances, en particulier le **Mme Hamia.H et Mme Gaouaoui. R** dans le domaine de **biotechnologie et valorisation des plantes***

## Dédicaces

*Je dédie mon mémoire de fin d'études à moi-même en premier lieu et à ma famille, en premier lieu à **ma mère et à mon père** qui ont été une source de force et de détermination grâce à leurs prières j'ai pu atteindre cette étape, que Dieu vous protège et prenne soin de vous. Je dédie ma remise de diplôme à mes sœurs **Fatima, Hadjar, Yassin et Ramzi** et à tous les famille **MEDOUAKH** et **BEN ALIA**, un par un.*

*Je dédie ma remise de diplôme à tous mes enseignants de l'école primaire à l'université.*

*Je dédie ma remise de diplôme à mes amis et à mes consolateurs et à tous ceux qui m'ont aimé et ont prié pour mon bien-être, en particulier **Asma, Khawla, Khadija et Amani**.*

## Dédicaces

*Je dédie ce mémoire de fin d'études à tous ceux qui m'ont soutenu dans ma famille, en particulier à ma mère et à mon père, qui méritent tout le crédit après Dieu, ainsi qu'à tous mes amis et frères, en particulier à tous les professeurs de mon parcours académique et universitaire, en leur souhaitant santé et bien-être*

*Je dédie mon diplôme à **ma famille, ma mère, mon père, mon frère et ma sœur**, mes amis et mes proches, ainsi qu'à tous ceux qui m'ont aimé et m'ont souhaité bonne chance, **Youssef, Momen, Saif et Mosleh et Ilyes***

## Listes des matières

### Sommaire

Remerciement.....	
Dédicaces .....	
Dédicaces .....	
Liste des Tableaux.....	I
Liste de figures .....	II
Liste des abréviations.....	III
Introduction générale.....	2

#### Partie bibliographique

##### Chapitre 1 Généralité sur la germination

1.1 Définition la germination .....	6
1.2. Etapes de la germination .....	6
1.2.1 Première phase: l'imbibition.....	6
1.2.2 Deuxième phase: activation de la germination .....	6
1.2.3 Troisième phase : division cellulaire et croissance de la plantule .....	7
1.3 Dormance chez les plantes .....	8
1.3.1. Définition de la dormance.....	8
1.3.2 Types de la dormance .....	8
1.4. Levée de la dormance .....	9

##### Chapitre 2 Prétraitement germinatif

2.1 Définition de l'amorçage .....	12
2.2. Histoire de l'amorçage .....	12
2.3. Types de prétraitement .....	13
2.3.1 Hydro-priming .....	13
2.3.2. Osmo-priming .....	13
2.3.4. Hormo-priming .....	14
2.4. Mécanisme d'action des prétraitements .....	14
2.4.1. Hydro-priming .....	14
2.4.2. Osmo-priming .....	14
2.4.3. Chimio-priming.....	14
2.4.4. Hormo-priming .....	14
2.5. Effet des prétraitements .....	15

#### Partie 2 expérimentale

##### Chapitre 3 Matériel et méthodes

3.1. Matériel végétal .....	19
-----------------------------	----

3.2. Protocole expérimental .....	19
3.2.1. Matériel et produit.....	19
3.2.2. Etapes de préparation des extraits naturels et de la solution d'AIA .....	20
3.2.3. Etape préliminaire aux traitements prégerminatifs .....	21
3.2.4. Etape du choix de la durée de séchage avant l'application du stress salin .....	22
3.2.5. Etape de préparation des solutions salines.....	23
3.3. Application du traitement pré germinatif .....	24
3.4. Application du stress salin.....	25
3.5. Mise à croissance.....	25
3.6. Paramètres étudiés .....	26
Chapitre 4 Résultat et discussion	
4.1. Résultats .....	28
4.1.1. Taux de germination .....	28
4.1.2. Longueur des racines et des épicotyles.....	31
4.1.3. Cénitique de la germination .....	36
4.2 Discussion.....	38
Conclusion	
Conclusion.....	42
la bibliographie .....	44
Annexces .....	
Les Résumés.....	

## Liste des Tableaux

**Tableau 1:** Tests des effets intersujets pour le Taux de germination .....

**Tableau 2:** Différence significative de test Tukeya pour TG%.....

**Tableau 3:** Différence significative de test Tukeya pour la salinité.....

**Tableau 4:** Tests des effets intersujets pour longueur de la tigelle .....

**Tableau 5:** Test tukey de Longueur de la tigelle pour la salinité .....

**Tableau 6:** Tests des effets intersujets de la Longueur de radicule.....

**Tableau 7:** Tes tuckey de la Longueur de radicule .....

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Différentes phases de la germination.....	7
<b>Figure 2.</b> Influence des conditions environnementales sur le développement, la dormance et la germination de la graine(N'Dri et al., 2011).....	10
<b>Figure 3:</b> Les deux différentes variétés de blé dur étudiées .....	19
<b>Figure 4:</b> Effet des différents traitements prégerminatifs sur le taux de germination chez variété <i>Boussalam</i> sous stress salin.....	28
<b>Figure 5:</b> Effet des différents traitements prégerminatifs sur le taux de germination chez variété <i>Oued El Bard</i> sous stress salin .....	29
<b>Figure 6 :</b> Effet des différents traitements prégerminatifs sur la longueur de l'épicotyle chez la variété <i>Boussalam</i> sous stress salin.....	31
<b>Figure 7:</b> Effet traitement prégerminatif sur la longueur de tige chez variété <i>Oued ElBard</i> sous stress salin.....	32
<b>Figure 8:</b> Effet des traitements prégerminatifs sur la longueur de la racine chez la variété <i>Boussalam</i> sous stress salin.....	34
<b>Figure 9:</b> Effet des traitements prégerminatifs sur la longueur de la racine chez la variété <i>Oued El Bard</i> sous stress salin.....	35
<b>Figure 10:</b> Effets des traitements pré germinatifs sur la cinétique de la germination de blé dur(variété <i>Boussalam</i> ) sous stress salin.....	36
<b>Figure 11:</b> Effets des traitements prégerminatifs sur la cinétique de la germination de blé dur (variété <i>Oued al Bard</i> ) sous stress salin .....	37

## Liste des abréviations

**SAU** : la superficie agricole utile

**PEG** : Polyéthylène Glycol

**GA** : Acide gibbérellique

**ABA** : Acide abscissique

**GPOX** : Guaiacol Peroxydase

**APX** : Ascorbate Peroxydase

**CAT** : catalase

**SOD** : superoxyde dismutase

**SNP** : Nitroprussiate de sodium

# **Introduction générale**

### Introduction générale

En Algérie, les produits céréaliers ont une importance cruciale tant dans le domaine de l'alimentation ou dans l'économie du pays. On perçoit clairement cette caractéristique à travers toutes les étapes de la filière. La production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays, La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 millions d'ha. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures (Djermoun, 2009).

Le Blé dur (*Triticum durum* Des) est la première céréale cultivée, c'est un aliment de base. (Djermoun, 2009), parce qu'il offre un apport calorique et protéique plus important dans l'alimentation que toutes les autres céréales. Cependant La salinité des sols constitue un obstacle majeur à cette culture (Seleimane et al.,2022).

La salinité, qu'elle soit naturelle ou provoquée, freine la croissance des plantes cultivées. Effectivement, la salinité influence tous les aspects de la biologie végétale. On envisage généralement les effets néfastes du sel sous trois angles. L'aspect osmotique, ayant dominé les recherches, se traduit par une disponibilité réduite en eau pour les plantes. L'aspect ionique et la toxicité des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , qui ont un impact négatif sur les structures membranaires. Le déséquilibre nutritionnel induit par les surplus de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , qui entravent l'extraction de certains ions indispensables tels que le  $\text{K}^+$  (Ghorfi,2009)

Selon Seleimane et al., (2022) L'amélioration de la productivité du blé dans des conditions de stress salin a fait l'objet de plusieurs recherches. La germination des graines est une étape essentielle du cycle de vie des plantes, constituant la base de l'établissement d'une bonne couverture végétale et assurant une productivité agricole stable (Boucelha & Djebbar, 2019). Parmi les différentes techniques utilisées pour améliorer cette étape « L'amorçage » ou « priming » est une méthode physiologique la plus efficace. Cette procédure est connue sous le nom de traitement prégerminatif des semences et est utilisée pour améliorer l'efficacité et la qualité de la germination (Boucelha & Djebbar, 2019)

Les techniques de prétraitement des semences avant la germination se répartissent en deux catégories, celles où l'absorption d'eau se fait de manière non contrôlée (comme l'hydropriming et l'hormoprining), et celles où elle est régulée (comme l'osmoprining et le chimioprining) (Taylor et al., 1998).

Elle est passée de techniques traditionnelles, comme le trempage dans l'eau tiède ou l'utilisation de cendre et de lait, à des méthodes modernes et avancées pour stimuler la

germination. (Bewley & Black, 1994). Les traitements modernes des graines, comme le trempage dans des solutions nutritives, l'enrobage chimique ou l'usage d'hormones végétales (gibbérellines, auxines, cytokinines), améliorent leur résistance aux maladies et aux conditions difficiles. Des alternatives naturelles, comme l'extrait de fenugrec, existent aussi. Toutefois, ces méthodes modernes peuvent être coûteuses et nécessitent un équipement spécialisé, contrairement aux méthodes traditionnelles, plus simples et écologiques. (Bewley & Black, 1994).

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de différents prétraitements (eau distillée, extraits naturels et phytohormone synthétique) sur la germination de deux variétés de blé dur (*Boussalam* et *Oued El Bard*) soumises à des concentrations croissantes de stress salin.

Ce mémoire est structuré en deux parties :

La première partie, est consacrée à une synthèse bibliographique concernant le thème de travail, elle est composée de deux chapitres :

- ✓ Chapitre 1 : Généralités sur la germination
- ✓ Chapitre 2 : Prétraitements germinatifs et leur impact sur la germination sous stress salin

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

- ✓ Chapitre 3 : Matériel et méthodes.
- ✓ Chapitre 4 : Résultats et discussion.

Cette étude s'achève par une conclusion générale synthétisant l'ensemble des résultats obtenus et leur interprétation. Elle permet d'évaluer le degré d'atteinte des objectifs fixés et d'ouvrir des perspectives pour de futures recherches.

# **Partie**

# **Bibliographique**

# **Chapitre1 Généralités sur la germination**

## **1.1 Définition la germination**

La phase de germination des graines constitue une étape vitale et essentielle dans le cycle de vie des plantes, représentant un moment clé de la reproduction sexuée et influençant directement la croissance et le développement de la plante. Au cours de cette phase, la graine reprend son activité vitale après une période de dormance, lorsque les conditions environnementales deviennent favorables, grâce à une série d'interactions physiologiques et biochimiques complexes qui débutent par l'absorption d'eau (imbibition). Ce processus déclenche la réactivation des fonctions métaboliques cellulaires, permettant la formation de la plantule et le démarrage de la croissance. Ces mécanismes traduisent une coordination fine entre les facteurs environnementaux et les signaux moléculaires internes, faisant de la germination une étape cruciale dans l'initiation du développement végétal (Nonogaki, 2019)

La germination ne peut être initiée que si trois conditions principales sont réunies : la graine doit être viable et physiologiquement apte à croître ; elle doit avoir levé sa dormance ; et elle doit être exposée à des conditions environnementales favorables, telles qu'un apport en eau suffisant, une température adéquate, la présence d'oxygène, et parfois de lumière. Dans certains cas, l'intervention de micro-organismes est également nécessaire pour dégrader l'enveloppe de la graine et faciliter ainsi sa germination. (Bewley et al., 2013).

## **1.2. Etapes de la germination**

La germination se divise en trois étapes principales : l'imbibition, au cours de laquelle la graine absorbe l'eau ; l'activation de la germination proprement dite, marquée par la reprise du métabolisme cellulaire ; et enfin la croissance, caractérisée par l'élongation de la radicule et la sortie de la plantule.

### **1.2.1 Première phase : l'imbibition**

Cette phase correspond à l'absorption initiale d'eau par la graine, entraînant sa réhydratation progressive. Elle marque le début de la reprise de l'activité métabolique, avec notamment une augmentation de la respiration cellulaire et la synthèse de protéines nécessaires au développement embryonnaire (Bewley et al., 2013).

### **1.2.2 Deuxième phase : activation de la germination**

Cette étape est marquée par la digestion des réserves nutritives. Les substances de stockage, telles que l'amidon contenu dans les cotylédons ou l'endosperme, sont hydrolysées

en sucres simples. Ces sucres sont ensuite transloqués vers l'embryon afin de soutenir sa croissance active (Hopkins,2003).

### 1.2.3 Troisième phase : division cellulaire et croissance de la plantule

Également appelée phase de développement embryonnaire, elle débute après l'émergence de la racicule (racine primaire) et de la tigelle (tige primaire). Cette phase se caractérise par une intense activité mitotique et l'élongation des tissus, conduisant à la formation et à la croissance de la plantule. À ce stade, de nouveaux organes et cellules se forment à partir de zones appelées zones de tissus méristématiques, où l'activité de division cellulaire et de croissance est très intense, ce qui contribue au développement rapide de l'embryon. La racine se développe pour ancrer la plante dans le sol et absorber l'eau ainsi que les minéraux, tandis que la tigelle se dirige vers le haut pour former la tige et les feuilles. Cette phase dépend du maintien de conditions favorables : eau, oxygène et température adéquate (Hopkins,2003)

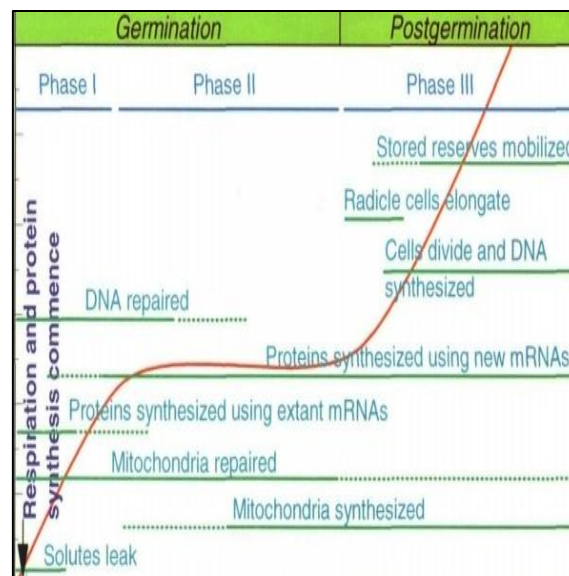


Figure 1: Différentes phases de la germination

(Bewley,1997)

### 1.3 Dormance chez les plantes

#### 1.3.1. Définition de la dormance

La dormance est une stratégie adaptative développée par les plantes supérieures pour survivre à des conditions environnementales défavorables. Elle se caractérise par une interruption temporaire de la croissance et du développement. Ce phénomène peut concerner différentes structures de la plante, notamment les graines et les bourgeons (Soppe & Bentsink, 2016).

La dormance se manifeste par une réduction marquée de l'activité métabolique et physiologique. Elle s'accompagne souvent de modifications physiologiques induites par des facteurs externes tels que la déshydratation, la pénurie d'eau ou de nutriments. La durée de cet état peut varier de quelques jours à plusieurs semaines, selon l'intensité du stress et l'espèce concernée. Il est généralement associé à des ajustements du métabolisme, de la température interne et de l'équilibre hydrique (Withers & Cooper, 2010).

#### 1.3.2 Types de la dormance

##### 1.3.2.1 Dormance primaire

Cette dormance survient pendant la formation des graines ou juste après leur maturation, en raison de l'imperméabilité de l'enveloppe à l'eau et à l'oxygène, empêchant ainsi leur absorption et inhibant la germination. La dureté de l'enveloppe de la graine constitue parfois une cause de dormance (Pandey & Sinha, 2009)

La dormance est un état de repos pouvant être induit par des facteurs internes ou par des causes naturelles d'origine embryonnaire. Elle se décline en plusieurs formes selon le mécanisme impliqué :

**Dormance physiologique** : due à la présence d'inhibiteurs endogènes ou à une immaturité physiologique de l'embryon, empêchant la germination même lorsque les conditions externes sont favorables.

**Dormance morphologique** : caractérisée par un embryon encore peu ou pas développé au moment de la dissémination de la graine.

**Dormance morphophysiologique** : combinaison des deux types précédents, impliquant à la fois un embryon sous-développé et des blocages physiologiques.

**Dormance physique** : résulte d'un tégument imperméable à l'eau ou aux gaz, empêchant ainsi l'imbibition nécessaire à la germination.

**Dormance combinée** : correspond à l'association d'une dormance physiologique et d'une dormance physique, nécessitant la levée des deux obstacles pour que la germination puisse avoir lieu (Baskin & Baskin, 2004)

#### 1.3.2.2 Dormance secondaire

Ce type de dormance résulte de l'immaturation embryonnaire. Il se manifeste souvent par la chute prématurée de graines dont l'embryon n'a pas encore terminé son développement, les rendant incapables de germer immédiatement. Ces graines nécessitent une phase de post-maturation, pendant laquelle des transformations internes ont lieu, influencées par des facteurs environnementaux comme la température, la lumière et l'oxygène. Cette phase s'accompagne probablement de modifications du pH, de l'activité enzymatique et du métabolisme respiratoire, ainsi que de l'activation possible de substances inhibitrices de la germination. Une fois le développement embryonnaire achevé, la graine devient apte à germer sans nécessiter de traitement particulier (Pandey & Sinha, 2009).

#### 1.4. Levée de la dormance

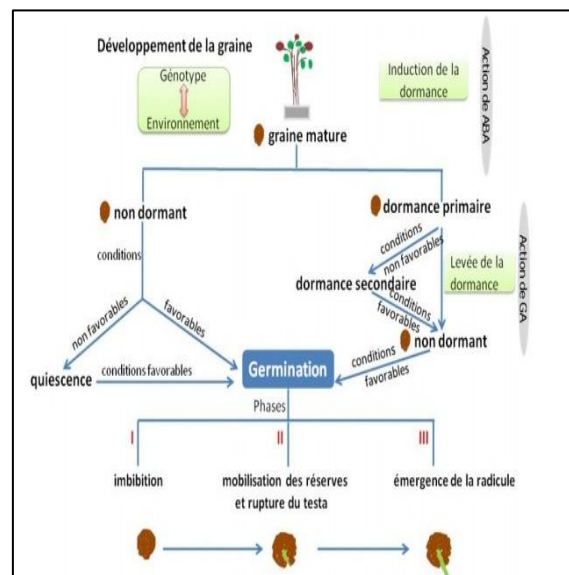
La levée de la dormance résulte d'une interaction complexe entre les facteurs environnementaux (comme la lumière, la température ou l'humidité) et les facteurs internes, notamment les hormones végétales.

Deux hormones principales interviennent dans ce processus, l'acide abscissique (ABA), qui maintient l'état de dormance et empêche la germination et la gibbérelline (GA), qui agit de manière antagoniste à l'ABA, en favorisant la levée de la dormance. Cette dernière stimule la croissance de l'embryon et la mobilisation des réserves de la graine, facilitant ainsi la germination (Finkelstein et al., 2008).

La réussite de la germination repose donc sur un équilibre hormonal précis, où une diminution de l'ABA et une augmentation de la GA sont essentielles (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006).

Pour lever la dormance (qu'elle soit primaire ou secondaire), il est souvent nécessaire d'appliquer des traitements spécifiques avant le semis ou les tests de germination. Ces méthodes varient selon l'espèce et le type de dormance. Parmi les plus courantes, on retrouve :

- ✓ La stratification : exposition des graines à une période de froid (vernalisation) ou de chaleur (estivation) pour imiter les conditions naturelles de levée de dormance.
- ✓ La scarification : affaiblissement du tégument imperméable par des moyens mécaniques, chimiques ou thermiques.
- ✓ L'élimination du tégument ou des substances inhibitrices : pour permettre l'imbibition et activer le métabolisme embryonnaire (Bewley *et al.*, 2013).



**Figure 2.** Influence des conditions environnementales sur le développement, la dormance et la germination de la graine (N'Dri *et al.*, 2011)

# **Chapitre 2**

## **Prétraitements**

### **Germinatifs**

## 2.1 Définition de l'amorçage

L'amorçage (ou priming) est une technique de prétraitement des semences qui consiste en une hydratation contrôlée des graines. Cette hydratation est modérée, juste assez pour activer les processus métaboliques initiaux, sans entraîner l'émergence de la radicule.

Cette méthode permet d'améliorer les performances germinatives en induisant des modifications physiologiques et biochimiques favorables à la germination.

Elle se réalise par immersion des graines dans une solution osmotique (contenant par exemple du PEG, du sel ou d'autres agents), ce qui permet à la graine de s'imbiber partiellement d'eau et de franchir la première phase de la germination (imbibition).

Ensuite, les graines sont séchées jusqu'à retrouver leur taux d'humidité initial, ce qui facilite leur stockage ou utilisation ultérieure (Heydecker, 1973).

L'amorçage est ainsi une méthode d'amélioration physiologique destinée à accélérer, uniformiser et renforcer la germination, notamment dans des conditions de stress.

## 2.2. Histoire de l'amorçage

Dès le début de l'agriculture, l'homme s'est rendu compte que la plupart des graines ne germent pas facilement et uniformément. L'amorçage des semences était une technique ancestrale pratiquée par les agriculteurs grecs. L'ophraste (372-287 av. J.-C.) s'est penché sur la physiologie des graines et a suggéré que le processus de germination pouvait être temporairement interrompu. Il a recommandé le prétrempage des graines de cucurbitacées dans du lait ou de l'eau pour une germination plus précoce et plus vigoureuse (Evenari, 1984)

L'utilisation du traitement hormonal des semences comme moyen d'améliorer la tolérance des plantes aux stress environnementaux tels que l'auxine, les gibbérellines, les cytokinines et l'éthylène a été abordée dans le but d'optimiser la croissance et le développement des plantes dans des conditions de stress (Lutts et *al.*,2016).

De nos jours, l'amorçage des semences reste une solution simple mais efficace pour améliorer la production agricole. Parmi les techniques d'amorçage des semences, l'amorçage hydrique est couramment adopté par les agriculteurs de l'Inde, du Népal, du Pakistan, de l'Afrique du Sud et de l'Asie du Sud-Est (Raj & Raj,2019).

## **2.3. Types de prétraitement**

### **2.3.1 Hydro-priming**

Cette méthode permet d'améliorer à la fois le taux et la vitesse de germination, tout en stimulant les processus physiologiques internes de la graine. Il a été démontré que le trempage des graines dans l'eau pendant une durée de 2 à 24 heures, selon l'espèce et le volume d'eau utilisé (généralement équivalent à 3 à 4 fois le volume de la graine), favorise l'activation des mécanismes liés à la germination. Les travaux de Moradi et Younesi (2009) ont ainsi montré que l'hydropriming accélère l'initiation de la germination, améliore le taux final de germination et favorise la croissance des jeunes plantules. L'amélioration des performances des graines préparées peut être attribuée en partie à la diminution du peroxyde lipidique et à l'augmentation des activités antioxydantes pendant l'absorption des graines, ce qui réduit les radicaux libres dans les graines prétraitées et diminue leurs effets néfastes sur les tissus vitaux à l'intérieur de la graine.

### **2.3.2. Osmo-priming**

L'amorçage des semences consiste à contrôler l'absorption d'eau en utilisant des solutions contenant du PEG, du  $KNO_3$  ou des sels. Cela réduit la vitesse d'hydratation, ce qui permet d'activer les processus métaboliques sans déclencher la germination (Brooks et *al.*, 2020).

Strogonov (1964) a été le premier à montrer que traiter les graines avec une solution saline avant le semis améliore leur tolérance au stress salin. Cette technique, appelée amorçage salin, améliore la germination et la croissance des plantules par rapport aux graines non traité

Selon Bradford (1986), les graines amorcées germent plus vite et de manière plus homogène. Cela permet une levée uniforme des cultures, ce qui est essentiel pour leur bon développement, surtout en conditions de stress. À l'inverse, une germination lente ou irrégulière peut conduire à des plantes faibles et peu nombreuses, plus sensibles aux contraintes de l'environnement.

### **2.3.3. Chimio-priming**

Il s'agit d'une technique visant à améliorer la qualité de la germination et la résistance au stress, qui consiste à placer les semences dans des solutions chimiques avant la plantation, pour une durée allant de quelques heures à une journée environ, selon le type de semence. Le chimio-priming est une méthode de prétraitement des semences dans des solutions chimiques (  $CaCl_2$

et SNP) pendant plusieurs heures avant le semis. Cette technique permet d'activer les enzymes antioxydantes telles que la catalase (CAT) et la superoxyde dismutase (SOD), réduisant les dommages cellulaires liés au stress oxydatif. Elle améliore également l'absorption des nutriments essentiels en conditions salines. Des études ont montré que ce traitement accélère la germination et favorise la vigueur des plantules (Mezzi Ou Mezzi et *al.*, 2021).

### **2.3.4. Hormo-priming**

Ce traitement n'est pas différent des autres car les graines sont trempées ou traitées avec des hormones végétales avant la plantation, comme l'acide gibbérellique (GA<sub>3</sub>) pour accélérer la germination et rompre la dormance des graines. L'acide salicylique pour augmenter la résistance des plantes aux conditions environnementales. L'acide abscissique (ABA) pour augmenter la résistance à la sécheresse et à la salinité (Gueridi et *al.*, 2024).

## **2.4. Mécanisme d'action des prétraitements**

### **2.4.1. Hydro-priming**

L'hydro-priming permet d'activer les mécanismes antioxydants en neutralisant les radicaux libres à l'origine de la détérioration cellulaire. Il favorise la synthèse enzymatique et la mobilisation des réserves avant l'émergence de la radicule. Trois phases d'absorption de l'eau sont impliquées : imbibition rapide, activation métabolique, puis germination. (Varier et *al.*, 2010)

### **2.4.2. Osmo-priming**

L'osmo-priming utilise des solutions à potentiel hydrique réduit (ex. PEG 6000), ralentissant l'absorption de l'eau. Il active les enzymes antioxydantes, améliore la tolérance au sel et la croissance des plantules (Pradhan et *al.*, 2014).

### **2.4.3. Chimio-priming**

Le chimio-priming agit directement via les antioxydants (SOD, CAT) ou indirectement via des molécules de signalisation qui renforcent la réponse au stress (Groß et *al.*, 2013).

### **2.4.4. Hormo-priming**

Il a été prouvé que le traitement aux phytohormones pour les semences, telles que la gibbérelline, la cytokinine et d'autres, entraîne une augmentation de l'absorption d'eau, une accélération de la respiration cellulaire, une activation de la synthèse des acides nucléiques et une dégradation des réserves alimentaires dans les semences, ainsi qu'une stimulation des

enzymes antioxydantes telles que la GPOX, l'APX, la CAT et la SOD ; La gibbérelline joue le rôle principal dans ce traitement, car elle est ajoutée à la gibbérelline naturelle contenue dans la graine, ce qui améliore la germination et la croissance ultérieure des racines et minimise les dommages causés aux membranes cellulaires (Gueridi et *al.*, 2024).

### **2.5. Effet des prétraitements**

#### **Sur la germination**

De nombreuses recherches ont mis en évidence l'efficacité des prétraitements, tels que l'osmopriming et le chimiopriming, pour améliorer la germination des graines, en particulier en conditions de stress. L'osmopriming avec des agents tels que le polyéthylène glycol (PEG) permet de créer un stress hydrique contrôlé, stimulant les processus physiologiques internes sans provoquer de germination immédiate. Cette technique favorise une activation précoce du métabolisme des graines, entraînant une levée plus rapide et plus homogène. Par exemple, Mirmazloun et *al.* (2020) ont montré que l'osmopriming au PEG améliore significativement la germination et la vigueur des plantules de *Carum carvi L.* en conditions contrôlées. De même, Dhal et *al.*, (2022) soulignent dans leur revue que le prétraitement des semences, en particulier chez les espèces potagères, favorise la levée uniforme des semis, améliore la vitalité des plantules, réduit le délai de germination et renforce la productivité des cultures.

#### **Sur la tolérance au stress salin**

Le traitement pré germinatif des semences constitue une stratégie prometteuse pour renforcer la tolérance des plantes au stress salin dès les premières étapes de développement. Plusieurs études ont démontré que cette approche permet non seulement d'améliorer la germination, mais aussi de limiter les dommages oxydatifs et structuraux causés par la salinité, en stabilisant les membranes cellulaires et en activant les mécanismes antioxydants. Par exemple, Baazize, (2021) a montré que le *priming* des semences de haricot (*Phaseolus vulgaris*) a significativement augmenté le taux de germination et la viabilité des graines exposées à un stress salin, en réduisant la perméabilité membranaire et en favorisant la rétention cellulaire d'eau.

De plus, l'utilisation de prétraitements hormonaux, tels que ceux à base d'acide indole-3-acétique (AIA) ou d'acide gibbérellique, favorise l'ajustement osmotique et la régulation des processus de croissance en conditions salines. Ellouzi ,(2023), dans une étude sur le mil, a mis en évidence que l'amorçage hormonal des semences augmente l'efficacité germinative et soutient la croissance des plantules sous salinité, en activant des voies physiologiques

impliquées dans la régulation du stress osmotique, notamment par l'accumulation de solutés compatibles et le maintien de l'intégrité cellulaire.

# **Partie expérimentale**

# **Chapitre 3**

## **Matériel et méthodes**

### 3.1. Matériel végétal

L'expérimentation a été réalisée sur deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) avec environ 180 graines saines et homogènes non endommagées et de taille uniforme pour chaque variété. Les deux variétés étudiées sont fournies par l'Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne (ITDAS) d'Ain Ben Naoui, Biskra. Les variétés utilisées sont : *Boussalam* et *Oued El Bard*



*Boussalam*

*Oued EL Bard*

**Figure 3:** Les deux différentes variétés de blé dur étudiées

### 3.2. Protocole expérimental

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet de quatre prétraitements deux d'entre eux aux extraits naturels (germe de blé de *Oued El Bard* et extrait de fenugrec) une phytohormone synthétique (l'auxine AIA) et l'eau distillée, sur la germination des graines de deux variétés de blé dur, soumises à un stress salin induit par l'ajout de différentes concentrations de chlorure de sodium. (0uM,50uM,100 uM et 150uM), sur une période de sept jours.

#### 3.2.1. Matériel et produit

- Agitateur magnétique (pour mélanger la solution)
- Balance de précision
- Bicher 100ml
- Boites de pétré

- Papier filtrée
- Papier absorbant
- Eprouvette de 100 mL et 500ml
- Pipette graduée de 10ml
- Flacon propre avec bouchon (pour conserver la solution)
- Étiquettes (pour noter la concentration et la date de préparation)
- Eau distillée
- 1 mg l'Auxine AIA ou AIB
- 10 ml Ethanol
- 10 g de grain de blé
- 10 g de graines de Fenugrec
- Chlorure de sodium (NaCl)

### 3.2.2. Etapes de préparation des extraits naturels et de la solution d'AIA

- Extrait de germe de blé
  - Tremper 10 g de grains de blé dans 100 mL d'eau distillée pendant 24 h.
  - Égoutter et placer sur du coton humide.
  - Laisser germer à 25°C jusqu'à ce que la longueur des racelles atteigne 2cm.
  - Mixer les germes avec 100 mL d'eau distillée froide. Laisser reposer 1 h, filtrer et conserver l'extrait à basse température.
- Extrait de fenugrec (Macération dans l'eau)
  - Faire tremper 10 g de graines de fenugrec dans 100 mL d'eau distillée.
  - Laisser reposer 24 heures à température ambiante.
  - Filtrer à l'aide du papier filtre
- Préparation d'une solution mère d'AIA (5 mM = 5000 µM)
  - Dans une éprouvette de 1L faites dissoudre 0,875 mg d'AIA dans quelques gouttes d'éthanol.

- Ajouter de l'eau distillée et agiter jusqu'à dissolution complète de l'AIA
- Compléter par l'eau distillée jusqu'au trait jaugé 1 L
- Diluer pour obtenir les concentrations souhaitées

<b>Concentration finale</b>	<b>Volume de solution mère (5 mM) à prélever</b>	<b>Compléter avec de l'eau jusqu'à</b>
<b>10 <math>\mu</math>M</b>	<b>2 mL</b>	<b>1 L</b>
<b>50 <math>\mu</math>M</b>	<b>10 mL</b>	<b>1 L</b>

### **3.2.3. Etape préliminaire aux traitements prégerminatifs**

- Détermination du temps d'imbibition maximale
  - Pour chaque solution (extrait de germe de blé, extrait de fenugrec, extrait de cannelle, solution d'auxine à 10  $\mu$ M et à 50  $\mu$ M et eau distillée, peser 10 graines sèches homogènes, poids initial (Pi).
  - Tremper les graines préalablement pesées dans les solutions préparées à raison de 10 Graines par solution pendant 12 h
  - Égoutter les graines sur du papier absorbant pour se débarrasser de l'excès de la solution
  - Peser immédiatement pour obtenir le poids après imbibition (Pf)
  - Répéter l'opération après 14 h, 16h et 18h.
  - Comparer Pf avec Pi pour voir le gain en eau.

NB/ Si le poids n'augmente plus après une durée plus longue, cela signifie que la capacité d'imbibition est atteinte.

➤ Calcul du pourcentage d'imbibition

La capacité d'imbibition se mesure souvent en pourcentage d'augmentation de masse :

$$\text{Taux d'imbibition \%} = \frac{(P_f - P_i)}{P_i} \times 100$$

Si ce taux n'augmente plus entre 12 h et 14 h, cela signifie que les graines ont atteint leur capacité maximale d'imbibition.

Si le poids continue d'augmenter légèrement, cela veut dire que les graines absorbent encore de l'eau et on peut alors ajuster la durée.

➤ Test avec différentes durées

Pour confirmer la durée optimale, on peut tester en pesant les graines avant et après trempage ce qui permet de voir si elles atteignent leur capacité maximale d'imbibition

- Si le poids reste stable entre 16 h et 18 h, alors 16 h est suffisant.

Exemple Si à 16h  $P_{f14h} \approx P_{f16h}$ , cela signifie que 16 h est suffisant et que 18 h n'apporte rien de plus.

- Si le poids augmente encore, une durée plus longue peut être envisagée.
- $P_{f14h} < P_{f16h}$ , alors la capacité d'imbibition n'est pas encore atteinte à 16 h et

### 3.2.4. Etape du choix de la durée de séchage avant l'application du stress salin

Les graines utilisées dans ce protocole sont celles utilisées dans le protocole de la détermination de la durée d'imbibition.

Cependant avant d'exécuter cette manip, il faut d'abord préparer les solutions salines.

- Après trempage, lorsque le poids des graines imbibées devient stable, égoutter les 10 graines de chaque prétraitement sur du papier absorbant.
- Répartir les graines de chaque prétraitement en deux lots composés chacun de 5 graines.

➤ Premier lot :

- Laisser sécher 5 graines de chaque prétraitement à l'air libre pendant une heure
- Ces 5 premières graines doivent rester légèrement humides.

- Appliquer alors un traitement salin modéré en arrosant les graines avec 5ml de la solution saline à 100 mM.
- Compter les graines germées (sortie de la radicule qui atteint une longueur supérieure ou égale à 2mm) quotidiennement pendant 7 jours.

➤ Deuxième lot :

- Les 5 graines restantes de chaque prétraitement doivent être séchées jusqu'à ce qu'elles retrouvent leur poids initial.
- Appliquer alors un traitement salin modéré en arrosant ces graines avec 5ml de la solution saline à 100 mM.

Compter les graines germées (sortie de la radicule qui atteint une longueur supérieure ou égale à 2mm) quotidiennement pendant 7 jours

### 3.2.5. Etape de préparation des solutions salines

➤ Calcul de la masse de NaCl à dissoudre

La masse molaire du NaCl est de 58,44 g/mol. Pour préparer des solutions aux concentrations voulues, dans 1 L d'eau, voici les masses correspondantes :

Concentration (mM)	Masse de NaCl (g) pour 1 L d'eau
50 mM	2,922 g
100 mM	5,844 g
150 mM	8,766 g
200 mM	11,688 g

- Préparation de la solution
- Peser la masse exacte de NaCl
  - Dissoudre le NaCl dans l'eau distillée

- Dans un bécher propre, verser environ 800 mL d'eau distillée
- Ajouter progressivement le NaCl pesé.
- Mélanger doucement avec un agitateur magnétique.
- S'assurer que tout le sel est dissous avant de passer à l'étape suivante
- Ajuster le volume final
  - Transférer la solution dans une éprouvette graduée (1L).
  - Compléter avec de l'eau distillée jusqu'à atteindre précisément 1 L.
  - Bien homogénéiser la solution.
- Stockage de la solution
  - Verser la solution dans un flacon propre.
  - Fermer hermétiquement avec un bouchon.
  - Étiqueter avec : Nom de la solution (NaCl).et Concentration.
  - Stocker à température ambiante si la solution est utilisée rapidement (quelques jours). Pour une longue conservation, stocker à 4°C.

### 3.3. Application du traitement pré germinatif

- Avant de procéder à l'application des traitements, il faut suivre les étapes suivantes :
  - Prendre des graines homogènes, uniformes et non endommagées
  - Ensuite, nous les avons bien puis nous les faisons tremper dans de l'eau de javal diluée pendant 10 à 15 minutes pour éliminer les impuretés
  - Ensuite, nous l'avons bien avec de l'eau du robinet, puis avec de l'eau distillée
- Après l'achèvement, nous faisons imbiber les graines choisées pour chaque variété dans différents traitements (extrait de germe de bl, extrait de fenugrec et l'auxine (AIA10 et l'AIA 50) et l'eau pendant 16h
- Imbiber 30 graines de chaque variété de blé dur par chaque traitement en étiquetant chaque traitement avec des étiquettes
- Pour le témoin sans traitement prégerminatif(SP): aucun traitement n'a été appliqué avant la mise à germination,toutes les graines sont utilisées sèches

### 3.4. Application du stress salin

Après 16 h, nous mettons directement les graines traitées avec différents traitements pour qu'elles germent dans des boîtes de Pétri de Ø 9 cm et H= 1cm sur une couche de papier absorbant sous différentes concentrations de stress salin (0g/L, 50g/L ,100g/L ,150g/L)

Pour le témoin : nous mettons directement les graines traitées sous différentes concentrations de stress salin

Avec trois répétition chaque boîte de pétri contient **10** graines de chaque variété à différentes concentrations

### 3.5. Mise à croissance

Après sept jours de mise à germination les plantules obtenues sont laissées croître durant trois jours supplémentaires.

Éviter l'exposition directe à la lumière.

Vérifier régulièrement l'humidité et arroser avec les concentrations correspondantes si nécessaire

- Mesure de la longueur de la racine et de la tige
  - Le 11<sup>ème</sup> jour à partir du premier jour de la mise à germination, la longueur de la racine et de la tige de chaque graine germée a été mesuré individuellement.
  - Une règle millimétrée est utilisée pour mesurer la longueur de la racine (racine) et la longueur de la tige (partie aérienne).
- Calcul de la moyenne

Pour chaque boîte de Pétri contenant 10 graines, calculer la moyenne des longueurs

$$\text{Longueur moyenne} = \frac{\sum \text{longueur de chaque graine}}{N}$$

- Où N est le nombre de graines germées
- Ce calcul a été répété pour les trois répétitions et la moyenne était calculée pour les trois boîtes pour chaque condition expérimentale

### 3.6. Paramètres étudiés

➤ Taux germination finale

Représente le pourcentage de graines germées par rapport au nombre total de graines mises en germination est calculé selon la relation :

$$TG\% = (n/N) \times 100$$

n : nombre des graines germées.

N : nombre totale de graines utilisées.

➤ Cinétique de germination :

Les taux de germination cumulés sont exprimés comme en nombre de graines ayant germées pendant 7 jours, pour tous les prétraitements et pour chaque variété de blé. Cela nous permet de mieux appréhender le comportement germinatif des variétés étudiées et l'importance écologique de tous les événements depuis le début de la phase d'imbibition des graines jusqu'à l'élongation de l'axe embryonnaire et l'émergence des racines

➤ Longueur des racines et des épicotyles :

La longueur de la racine primaire et la longueur de l'épicotyle ont été mesurées avec une règle graduée à la fin de l'expérimentation

➤ Analyse statistique

Les expériences ont été répétées trois fois. Les résultats, présentés sous forme de courbes ou d'histogrammes représentent les valeurs moyennes des répétitions. L'analyse de la variance (ANOVA) à trois facteurs a été réalisée afin de mettre en évidence les différences significatives éventuelles entre les différents traitements au seuil de probabilité de 5 %. Un test de Tukey est alors effectué pour les facteurs significatifs à l'aide de logiciel SPSS 20

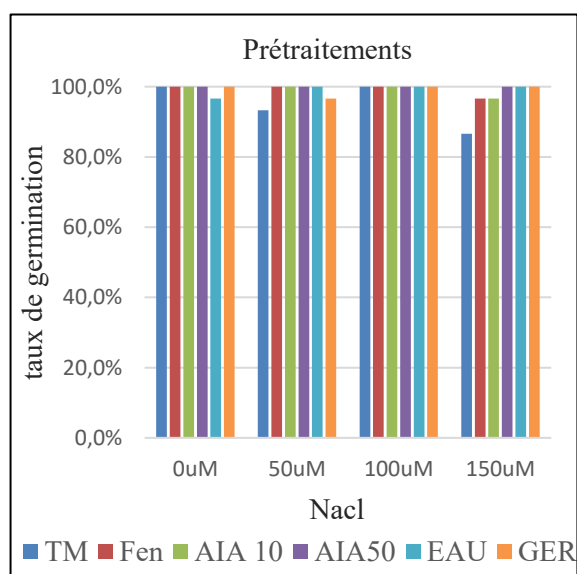
# **Chapitre 4**

## **Résultat et discussion**

## 4.1. Résultats

### 4.1.1. Taux de germination

La figure (04) présente la variation du taux de germination final de deux variétés de blé dur (*Boussalam* et *Oued El Bard*). Les graines des variétés étudiées ont été préalablement immergées dans l'eau, dans différents extraits naturels (Fen, Ger) et dans l'auxine synthétique (AIA10 et AIA50) et par la suite exposées à différents niveaux de stress salin (0 g/L, 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L).

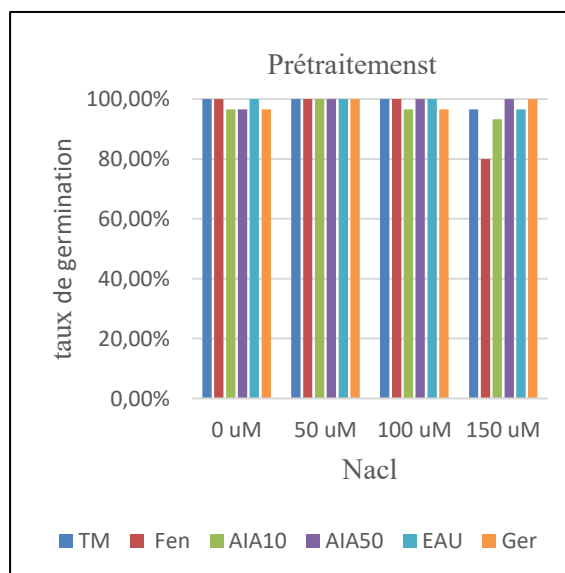


**Figure 4:** Effet des différents traitement prégerminatif sur le taux de germination chez variété *Boussalam* sous stress salin

Les résultats de cette étude ont montré que différentes concentrations de NaCl (0, 50, 100, 150  $\mu$ M) ont influencé de manière différenciée le taux de germination des graines de blé de la variété Boussalem, soumises à plusieurs traitements : témoin (TM), *Trigonella foenum-graecum* (Fen), acide indole-acétique à 10  $\mu$ M (AIA 10) et à 50  $\mu$ M (AIA 50), eau distillée (EAU) et l'extrait de germe de blé (GER). Le traitement témoin (TM) a présenté une diminution progressive du taux de germination avec l'augmentation de la salinité, passant de 100 % à 86,6 % à 150  $\mu$ M, ce qui indique un effet inhibiteur notable du NaCl. Le traitement Fen a légèrement atténué cet effet, avec un taux de germination de 96,6 % à 150  $\mu$ M. De même, les traitements AIA 10 et AIA 50 ont montré une certaine stabilité, atteignant respectivement 96,6 % et 100 % à 150  $\mu$ M. En revanche, les traitements EAU et GER ont maintenu un taux de germination élevé et relativement stable, atteignant presque 100 % à toutes les concentrations testées, avec de

légères variations. Ces résultats suggèrent que certains traitements, notamment EAU et GER, peuvent efficacement compenser les effets

Négatifs de la salinité sur la germination, et pourraient être exploités comme stratégie pour améliorer la tolérance du blé au stress salin.



**Figure 5:** Effet des différents traitements prégerminatifs sur le taux de germination chez la variété *Oued El Bard* sous stress salin

Les résultats de l'expérience ont montré que différentes concentrations de NaCl (0, 50, 100, 150  $\mu\text{M}$ ) ont influencé le taux de germination des graines de blé de la variété *Oued El Bard*, soumis à plusieurs traitements : témoin (TM), *Trigonella foenum-graecum* (Fen), acide indole-acétique à 10  $\mu\text{M}$  (AIA10) et 50  $\mu\text{M}$  (AIA50), eau distillée (EAU) et l'extrait de germe blé (Ger). Les données indiquent que le taux de germination du témoin est resté stable à 100 % jusqu'à 100  $\mu\text{M}$ , puis a légèrement diminué à 96,6 % à 150  $\mu\text{M}$ . Le traitement Fen a montré une baisse marquée à 80 % à cette concentration, ce qui reflète une sensibilité accrue au stress salin. Le traitement AIA10 a enregistré une diminution modérée à 93,3 %, tandis qu'AIA50 a maintenu un taux de germination de 100 %, ce qui suggère une efficacité notable face à la salinité. Le traitement EAU a montré une stabilité générale, conservant un taux de 100 % à toutes les concentrations, sauf une légère baisse à 96,6 % à 150  $\mu\text{M}$ . Quant au traitement Ger, il s'est montré particulièrement efficace, maintenant un taux de germination de 100 % aux concentrations élevées, avec une légère baisse à 96,6 % aux concentrations de 0 et 100  $\mu\text{M}$ . Ces résultats soulignent que les traitements AIA50, EAU et Ger se sont révélés efficaces pour

réduire partiellement l'impact du sel sur la germination du blé, selon les résultats obtenus. Cela suggère qu'ils pourraient constituer des stratégies intéressantes à explorer dans le renforcement de la tolérance au stress salin.

L'analyse de la variance à trois facteurs (ANOVA à trois facteurs) a permis d'évaluer les effets de la variété, du prétraitement (AIA50 ; AIA10 ; EAU ; Ger ; Fen) et de la salinité (0, 50, 100, 150  $\mu\text{M}$ ) sur le taux de germination (TG%). Les résultats ont montré que le prétraitement ( $p = 0,049$ ) et la salinité ( $p = 0,000$ ) exercent des effets significatifs sur le taux de germination, tandis que l'effet principal de la variété n'est pas significatif ( $p = 0,228$ ). Des interactions significatives ont été observées entre le prétraitement et la salinité ( $p = 0,000$ ), entre la variété et le prétraitement ( $p = 0,002$ ), ainsi qu'une interaction triple entre la variété, le prétraitement et la salinité ( $p = 0,003$ ). Ces résultats indiquent que l'efficacité des prétraitements dépend non seulement du niveau de salinité, mais aussi du génotype utilisé. En revanche, l'interaction entre la variété et la salinité n'a pas été significative ( $p = 0,106$ ). Ces résultats soulignent l'importance de sélectionner un traitement adapté au stress salin et à la variété végétale pour optimiser la germination. (Annexes 1)

Le test de comparaisons multiples de Tukey n'a pas révélé de différences significatives entre les différents prétraitements concernant le taux de germination (TG%), avec une valeur  $p = 0,128$ , supérieure au seuil de signification de 0,05. Cela indique que les moyennes des groupes ne diffèrent pas statistiquement, bien que certains prétraitements montrent une tendance à l'amélioration progressive du taux de germination. Les prétraitements AIA50 (99,58 %), Eau (99,17 %) et Germe (98,75 %) ont affiché les valeurs les plus élevées, comparativement au Fenugrec et au témoin qui ont enregistré les moyennes les plus basses (97,08 %). Malgré l'absence de signification statistique, cette tendance positive observée pour certains prétraitements pourrait justifier des études plus approfondies. Il est à noter que tous les prétraitements ont été regroupés dans le même sous-ensemble homogène, ce qui suggère que les différences potentielles pourraient être masquées par la variabilité expérimentale, même si le nombre de répétitions (24 par traitement) est suffisant du point de vue du plan expérimental (Annexe 2)

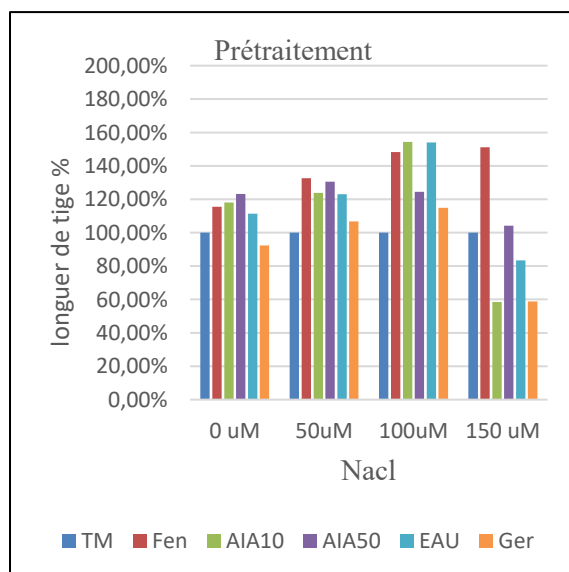
Selon l'analyse des sous-ensembles homogènes du test de Tukey, le taux de germination (TG%) pour le niveau de salinité 150  $\mu\text{M}$  forme un groupe distinct avec une moyenne plus faible (95,56 %), tandis que les niveaux de salinité 0, 50 et 100  $\mu\text{M}$  forment un second groupe homogène avec des moyennes élevées (entre 98,89 % et 99,44 %). Cela confirme

l'impact négatif significatif de la salinité élevée (150  $\mu\text{M}$ ) sur la germination, par opposition aux niveaux plus faibles qui ne présentent pas de différence significative entre eux. (Annexes 3)

#### 4.1.2. Longueur des racines et des épicotyles

##### 4.1.2.1. Longueur des épicotyles

Les résultats de l'expérience illustrés dans la figure 6. ont montré que les différentes concentrations de NaCl (0, 50, 100, 150  $\mu\text{M}$ ) ont influencé la longueur de la tige du blé de la variété Boussalam, sous l'effet de plusieurs traitements : témoin (TM), *Trigonella foenum-graecum* (Fen), acide indole-acétique à deux concentrations (AIA10 et AIA50), eau distillée (EAU) et l'extrait de germe blé (Ger). Les données indiquent que la longueur de la tige chez le témoin (TM) a été maintenue à 100 % à toutes les concentrations, servant ainsi de référence pour comparer les autres traitements.

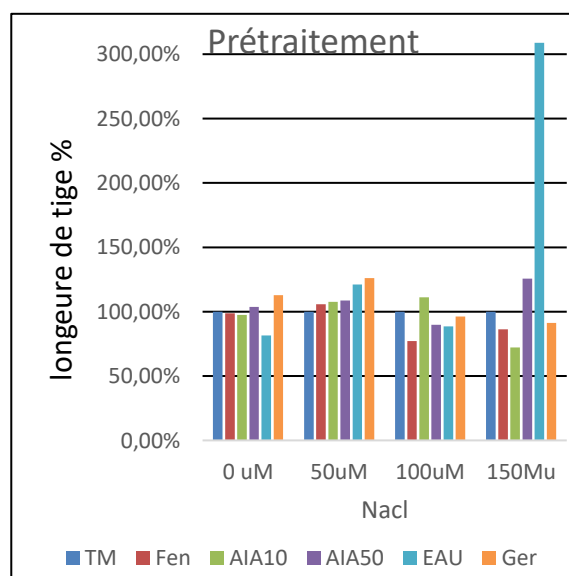


**Figure 6** : Effet des différents traitements prégerminatif sur la longueur de l'épicotyle chez la variété *Boussalam* sous stress salin

Le traitement Fen a montré une augmentation progressive avec l'élévation de la salinité, atteignant 151,2 % à 150  $\mu\text{M}$ . En revanche, le traitement AIA10 a enregistré une valeur maximale de 154,4 % à 100  $\mu\text{M}$ , suivie d'une baisse marquée à 58,5 % à 150  $\mu\text{M}$ , ce qui révèle une sensibilité élevée au stress salin à forte concentration. Quant au traitement AIA50, il a présenté des augmentations plus modérées, culminant à 123,2 % en absence de sel (0  $\mu\text{M}$ ),

avant de diminuer légèrement à 104,1 % à 150  $\mu$ M. Le traitement EAU a suivi une tendance comparable, avec un pic à 154 % à 100  $\mu$ M, puis une chute à 83,4 % à 150  $\mu$ M. Enfin, le traitement Ger a globalement affiché les valeurs les plus faibles, notamment un minimum de 58,8 % à la concentration la plus élevée. Ces résultats suggèrent que des concentrations modérées de NaCl (entre 50 et 100  $\mu$ M) peuvent stimuler la croissance de la tige dans certains traitements. En revanche, une salinité plus élevée (150  $\mu$ M) induit une inhibition nette de la croissance, en particulier pour les traitements AIA10 et Ger, ce qui met en évidence une réponse différenciée au stress salin selon le traitement appliqué.

Les résultats de l'expérience ont montré que les différentes concentrations de NaCl (0, 50, 100, 150  $\mu$ M) ont influencé la longueur de la tige du blé la variété Oued El Bered, sous l'effet de plusieurs traitements : témoin (TM), foenum-graecum (Fen), acide indole-acétique à deux concentrations (AIA10 et AIA50), eau distillée (EAU) et l'extrait de germe blé (Ger).



**Figure 7:** Effet traitement prégerminatif sur la longueur de tigelle chez variété *Oued ElBard* sous stress salin

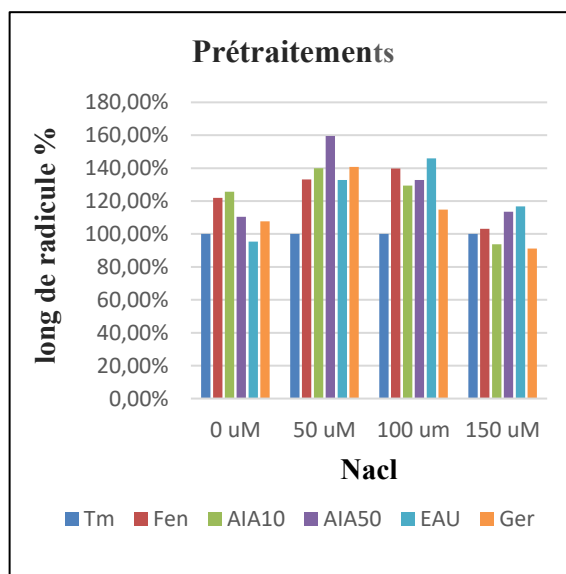
Le traitement Fen a montré une baisse marquée à 77,1 % à 100  $\mu$ M, suivie d'une légère remontée à 86,3 % à 150  $\mu$ M, traduisant une réponse partiellement compensée à la salinité croissante. En ce qui concerne AIA10, une amélioration modérée a été observée à 100  $\mu$ M (111,1 %), avant une chute significative à 72,2 % à 150  $\mu$ M, ce qui indique une sensibilité accrue à des concentrations élevées de NaCl. À l'inverse, le traitement AIA50 a enregistré une progression régulière, atteignant 125,7 % à 150  $\mu$ M, ce qui suggère une bonne tolérance au

stress salin. Une réponse exceptionnelle a été observée avec EAU à 150  $\mu\text{M}$  (308,8 %). Ce résultat, bien que remarquable, pourrait refléter une interaction atypique, nécessitant une vérification expérimentale supplémentaire pour en confirmer la validité. Quant au traitement Ger, il a atteint un pic de 126 % à 50  $\mu\text{M}$ , suivi d'une baisse relative aux autres concentrations, indiquant une efficacité limitée à des conditions de salinité modérée. En résumé, ces résultats révèlent une variabilité importante dans la réponse de la variété Oued El Bared au stress salin en fonction du traitement appliqué. Le traitement AIA50 se distingue par son efficacité, tandis que certains résultats, notamment ceux associés à EAU, méritent une analyse plus approfondie.

L'analyse de la variance à trois facteurs (ANOVA à trois facteurs) a permis d'évaluer les effets de la variété, du prétraitement (AIA50 ; AIA10 ; EAU ; Ger ; Fen) et de la salinité (0, 50, 100, 150  $\mu\text{M}$ ) sur longueur de la tige, a révélé que la variété et la salinité exercent des effets significatifs sur la longueur de la tige, avec des valeurs de  $p$  respectives de 0,001 et  $< 0,001$ , indiquant des différences réelles dans la réponse des plantes. En revanche, le prétraitement n'a pas montré d'effet principal significatif ( $p = 0,196$ ). Toutefois, des interactions significatives ont été observées entre la variété et le prétraitement ( $p = 0,005$ ), ainsi qu'entre la variété et la salinité ( $p < 0,001$ ), ce qui suggère que la réponse en longueur de la tige dépend du génotype utilisé face aux différents prétraitements ou niveaux de salinité. En revanche, les interactions entre prétraitement et salinité ( $p = 0,603$ ), ainsi que l'interaction triple (variété  $\times$  prétraitement  $\times$  salinité,  $p = 0,523$ ), n'étaient pas significatives. Le modèle statistique présente une très bonne qualité d'ajustement, avec un coefficient de détermination  $R^2 = 0,930$ , indiquant que 93 % de la variation observée dans la longueur de la tige est expliquée par les facteurs étudiés. Ces résultats soulignent l'importance de la variété et de la salinité dans le développement de la tige, tout en mettant en évidence le rôle des interactions spécifiques entre facteurs. (Annexes4)

L'analyse des sous-ensembles homogènes selon le test de Tukey a montré que les différents niveaux de salinité ont un effet significatif et distinct sur la longueur de la tige. La salinité la plus élevée (150  $\mu\text{M}$ ) a entraîné la longueur la plus faible (moyenne de 1,53), tandis que la longueur de la tige augmentait progressivement avec la diminution de la salinité, atteignant la valeur la plus élevée (12,10) en absence de salinité (0  $\mu\text{M}$ ). Ces résultats confirment l'effet négatif croissant de la salinité sur la croissance des plantes, indiquant que l'augmentation de la concentration en sels réduit significativement la longueur de la tige. (Annexes 5)

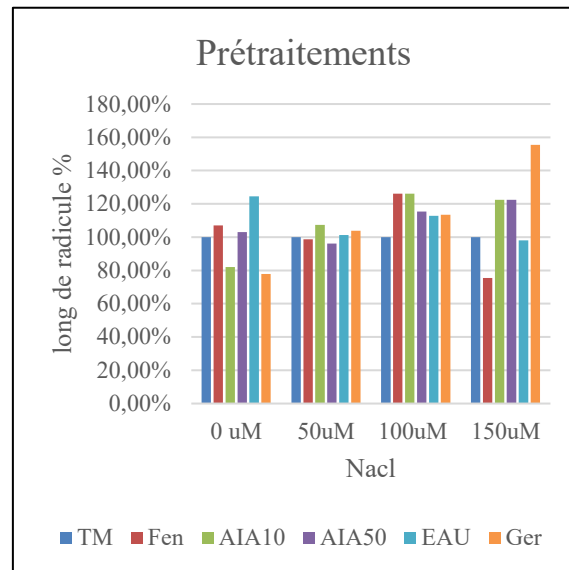
4.1.2.2. Longueur des racines



**Figure 8:** Effet des traitements prégerminatifs sur la longueur de la racine chez la variété *Boussalam* sous stress salin

Les résultats de l'expérience illustré dans la figure8 ont montré que les différentes concentrations de NaCl (0, 50, 100, 150 µM) ont influencé la longueur de la racine du blé de la variété *Boussalam*, en fonction des traitements prégerminatifs appliqués. Le témoin a été maintenu à 100 % à toutes les concentrations comme référence. Le traitement Fen a montré une augmentation progressive jusqu'à 139,8 % à 100 µM, puis une baisse à 103,1 % à 150 µM. AIA10 a atteint 140 % à 50 µM avant de chuter à 93,8 % à 150 µM. AIA50 a affiché des valeurs élevées, culminant à 159,5 % à 50 µM et restant efficace avec 113,5 % à 150 µM. Le traitement EAU a montré une bonne performance, avec un maximum de 146 % à 100 µM et 116,7 % à 150 µM. Ger a présenté une valeur élevée à 50 µM (140,7 %) mais a diminué à 91,1 % à la concentration la plus élevée. Ces résultats indiquent que des concentrations modérées de NaCl (50–100 µM) favorisent la croissance racinaire chez la variété *Boussalam* dans la plupart des traitements, tandis que la concentration de 150 µM exerce un effet inhibiteur partiel, à

l'exception notable des traitements AIA50 et EAU, qui maintiennent une efficacité relative en condition de stress salin.



**Figure 9:** Effet des traitements prégerminatifs sur la longueur de la racine chez la variété *Oued El Bard* sous stress salin

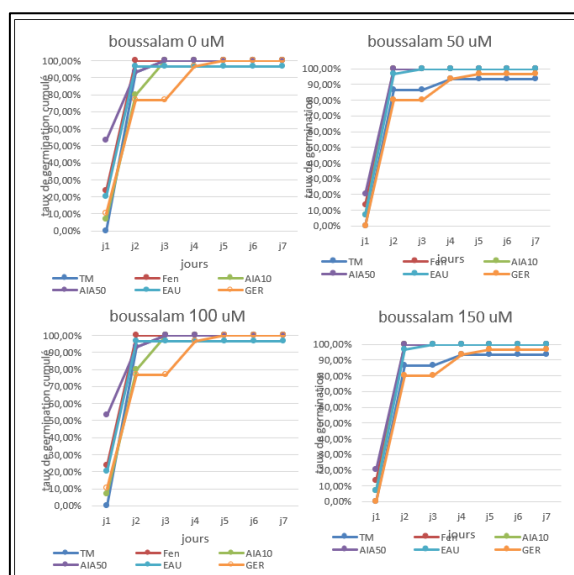
Chez la variété *Oued El Barad*, le témoin a été maintenu à 100 % à toutes les concentrations comme référence. Dans *Oued El Barad*, le traitement Fen a atteint un maximum de 126,1 % à 100  $\mu$ M avant de chuter à 75,4 % à 150  $\mu$ M. AIA10 a montré une nette amélioration aux fortes concentrations, avec 126,1 % à 100  $\mu$ M et 122,5 % à 150  $\mu$ M. AIA50 a suivi une tendance similaire, atteignant 115,4 % à 100  $\mu$ M et 122,5 % à 150  $\mu$ M. Le traitement EAU a présenté une valeur maximale à 0  $\mu$ M (124,6 %), puis a diminué progressivement jusqu'à 98,1 % à 150  $\mu$ M. Le traitement Ger, bien qu'ayant commencé à un niveau bas (77,9 % à 0  $\mu$ M), a montré une amélioration marquée avec un pic à 155,5 % à 150  $\mu$ M. Ces résultats indiquent que la variété *Oued El Bared* répond positivement au stress salin, notamment au niveau racinaire, lorsqu'elle est traitée avec AIA10, AIA50 ou Ger, ce qui suggère leur potentiel pour renforcer la tolérance à la salinité.

L'analyse de la variance à trois facteurs (ANOVA à trois facteurs) a permis d'évaluer les effets de la variété, du prétraitement (AIA50 ; AIA10 ; EAU ; Ger ; Fen) et de la salinité (0, 50, 100, 150  $\mu$ M) sur longueur de la racine. Le facteur "variété" a montré un effet hautement significatif ( $p < 0,001$ ), indiquant que la réponse des plantes varie en fonction du type de variété. De même, le facteur "salinité" a eu un effet très significatif ( $p < 0,001$ ), soulignant l'influence

importante du stress salin sur la croissance racinaire. En revanche, le prétraitement n'a montré aucun effet significatif ( $p = 0,840$ ), ni de manière isolée, ni dans ses interactions avec les autres facteurs. Parmi les interactions, seule l'interaction entre la variété et la salinité s'est avérée significative ( $p < 0,001$ ), ce qui suggère que l'effet de la salinité dépend du type de variété – certaines variétés étant probablement plus tolérantes que d'autres. (Annexes6)

Les résultats du test de Tukey ont confirmé que la salinité exerce un effet significatif sur la longueur de la racicule, au seuil de signification de 0,05. En effet, la moyenne de la longueur racinaire diminue progressivement avec l'augmentation de la concentration en sel. La concentration de 150  $\mu\text{M}$  forme un sous-ensemble homogène distinct, ce qui indique une différence significative par rapport aux autres traitements. De même, la concentration de 100  $\mu\text{M}$  constitue un groupe séparé, statistiquement différent des autres niveaux. En revanche, les concentrations de 50  $\mu\text{M}$  et de 0  $\mu\text{M}$  appartiennent au même sous-ensemble homogène, ce qui suggère qu'il n'existe pas de différence significative entre ces deux traitements. Globalement, ces résultats montrent que l'augmentation de la salinité inhibe la croissance de la racicule. Les longueurs les plus élevées sont observées en absence de sel, tandis que les plus faibles correspondent à la concentration maximale de 150  $\mu\text{M}$ . (Annexes7)

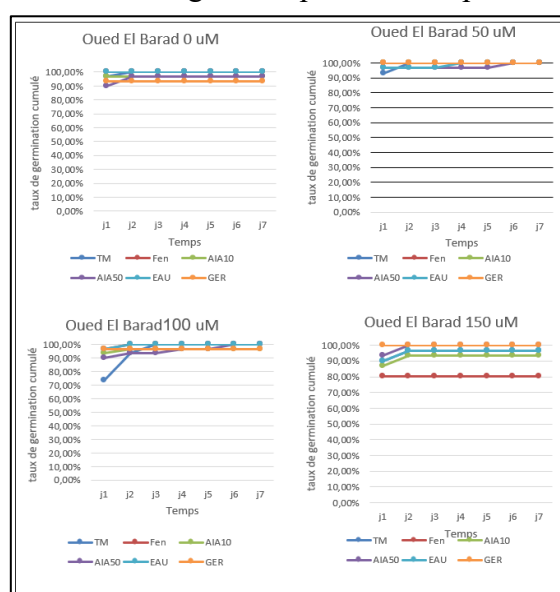
#### 4.1.3. Cénitique de la germination



**Figure 10:** Effets des traitements pré germinatif sur la cinétique de la germination de blé dur (variété *Boussalam*) sous stress salin

Les résultats de l'étude ont montré que les prétraitements ont eu un effet significatif sur la cinétique de germination du blé dur de la variété *Boussalam* sous différents niveaux de stress salin (0, 50, 100 et 150  $\mu\text{M}$ ). En absence de stress (0  $\mu\text{M}$ ), tous les traitements ont permis d'atteindre des taux de germination très élevés. Dès le troisième jour, AIA10, AIA50, Fen, EAU et GER ont atteint 100 %, tandis que le témoin (TM) a progressé de 93,3 % au jour 2 à 100 % au jour 3. Sous un stress léger (50  $\mu\text{M}$ ), AIA10 et AIA50 ont permis d'atteindre 100 % dès le deuxième jour. Fen a atteint 100 % au jour 2 également, tandis qu'EAU a progressé de 6,6 % au jour 1 à 100 % au jour 3. GER a démarré à 0 %, a atteint 80 % au jour 2, puis 93,3 % au jour 4. Le témoin (TM) est resté en dessous des autres, atteignant seulement 93,3 % au jour 7. À 100  $\mu\text{M}$  de NaCl, AIA10, AIA50 et Fen ont atteint 100 % dès le jour 3. EAU a montré une progression rapide, atteignant 100 % au jour 3 également. GER est passé de 0 % au jour 1 à 83,3 % au jour 2, et a atteint 100 % au jour 4. Le témoin (TM) a progressé plus lentement, atteignant 93,3 % au jour 2 et 100 % au jour 4. Sous un stress salin élevé (150  $\mu\text{M}$ ), AIA10 et AIA50 ont montré une germination rapide et élevée, atteignant 96,6 % au jour 4 et 100 % au jour 5. Fen a progressé de 0 % au jour 1 à 93,3 % au jour 4. EAU est passé de 3,3 % au jour 1 à 100 % au jour 3. GER a atteint 86,6 % au jour 2, puis 100 % au jour 5. Le témoin (TM) est resté à 86,6 % du jour 4 au jour 7, avec un démarrage à 0 % au jour 1. Ces résultats confirment l'efficacité supérieure des traitements à base d'acide indole acétique (AIA10 et AIA50) pour améliorer la tolérance au stress salin, assurant une germination plus rapide et plus complète

Les traitements avec Fenugrec et EAU ont également montré une certaine efficacité. Le traitement avec GER a permis une amélioration tardive, tandis que le témoin a présenté les performances les plus faibles tout au long de l'expérience, en particulier sous stress élevé.



**Figure 11:** Effets des traitements prégerminatif sur la cinétique de la germination de blé dur (variété *Oued al Bard*) sous stress salin

Les résultats de la germination sous différentes concentrations de NaCl (0, 50, 100, 150  $\mu$ M) sont exprimés en pourcentage (%). L'étude montre un effet net des concentrations salines sur la capacité de germination des graines, ainsi que l'impact des traitements préalables pour améliorer leur résistance. À la concentration nulle (0  $\mu$ M), tous les traitements présentent des pourcentages de germination élevés et stables, allant de 90 % à 100 % sur la période de sept jours, indiquant des conditions optimales sans stress. Sous un stress salin modéré (50  $\mu$ M NaCl), les graines traitées, notamment celles traitées avec GER et AIA10, maintiennent des pourcentages très élevés, entre 96,6 % et 100 %, avec une amélioration progressive au fil des jours, suggérant un effet protecteur du priming contre le stress. À une concentration plus élevée (100  $\mu$ M NaCl), une baisse relative du taux de germination est observée surtout chez les graines non traitées (TM), qui chutent à environ 73,3 % au premier jour, puis récupèrent progressivement pour atteindre entre 90 % et 100 % les jours suivants. Les graines traitées montrent une meilleure tolérance au stress. Au plus haut niveau de stress (150  $\mu$ M NaCl), certains traitements comme Fen présentent une réduction plus marquée du taux de germination, autour de 80 %, tandis que d'autres traitements tels que GER, AIA50 et EAU maintiennent des taux très élevés, jusqu'à 100 % dans certains cas, démontrant leur efficacité à améliorer la résistance au stress salin sévère. En résumé, les taux de germination diminuent avec l'augmentation de la concentration saline, mais les traitements préalables (priming) jouent un rôle important dans l'atténuation de cet effet négatif, avec une efficacité variable selon les agents utilisés.

### 4.2 Discussion

Les résultats de notre étude ont montré que les prétraitements des semences, tels que l'hydropriming ou l'utilisation d'extraits de plantes ou de régulateurs de croissance, améliorent de manière significative les taux de germination et la croissance des semis dans des conditions de stress salin. Ces résultats sont en accord avec des études antérieures sur les graines de tournesol (Matias et al., 2018), celles de *Trigonella foenum-graecum* (Mezzi et al., 2021) et de la tomate (Pradhan et al., 2014). Notre expérience a montré que les semences traitées des deux variétés, en particulier la variété *Boussalam*, montrent que les prétraitements jouent un rôle significatif dans l'amélioration et l'accélération de la germination dans des conditions normales et salines.

Ces résultats indiquent que l'eau et l'extrait de germe de blé peuvent compenser efficacement les effets négatifs de la salinité sur la germination pour la variété *Boussalam*. En

effet le traitement prégerminatif avec de l'eau a atténué les dommages de la salinité, ceci a également été confirmé par (Matias et al.,2018) dans son expérience sur les graines de tournesol, où les graines de tournesol amorcées à l'eau a différentes concentrations de sel ont montré une amélioration significative de la vitesse de germination et de la vigueur des semences a été constatée, en particulier à de faibles niveaux de salinité, le traitement à l'eau ayant atténué les effets de la salinité sur les semences., ce qui est cohérent avec les résultats de notre expérience, où pour la variété *Boussalam*, le taux de germination a atteint 20% le premier jour, tandis que le témoin était à 0%. En ce qui concerne la racine, un développement plus important a été observé chez *Boussalam* à toutes les concentrations de sel par rapport au témoin, alors que le développement de la racine chez la variété *Oued al Bared* n'a eu lieu qu'à la faible concentration de sel, ce qui signifie que la variété a également un rôle prépondérant dans la croissance racinaire dans différents milieux salins.

Le traitement hormonal des graines des deux variétés a montré une stabilité dans tous les milieux salins en termes de taux de germination , ce qui signifie que les phytohormones ont un rôle dans la stabilité des plantes en conditions salines, ce qui est cohérent avec l'expérience de ( Gueridi et al.,2024) qui ont travaillé sur fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.).où il a été constaté que les phytohormones (GA3) ont un rôle dans la résistance au stress oxydatif résultant du stress salin à travers la stimulation des antioxydants. Cette réponse s'explique par le fait que les hormones ont stimulé les enzymes antioxydantes afin de réduire le processus d'oxydation et les radicaux libres dans la plante.

Dans une étude précédente ( Mezzi Ou Mezzi al.,2021), dans son expérience sur les graines de fenugreek (*Trigonella foenum-greacum* L.) qui ont été traités avec de l'eau, du SNP (Nitroprussiate de sodium) et du CaCl<sub>2</sub> , a également montré une augmentation de l'activité des enzymes antioxydantes telles que la catalase (CAT) et la peroxydase (POD), qui renforce la capacité de la plante à résister au stress oxydatif, ainsi qu'une augmentation de la biomasse végétale ainsi qu'une réduction du temps de germination

Quant au traitement au fenugrec, il a eu un effet positif sur les deux variétés à faible et moyenne salinité, mais son effet a été moindre à forte salinité. En ce qui concerne la croissance, le traitement au fenugrec a montré un effet positif pour la variété *Boussalam*, significativement plus élevé que le témoin, contrairement à la variété *oued El bared*, pour laquelle la salinité a eu un effet négatif sur les semences imprégnées de fenugrec. En ce qui concerne la croissance, le traitement prégerminatif au fenugrec a eu un effet positif sur la variété *Boussalam*, significativement plus élevé que le témoin, contrairement à la variété *oued El bared* pour

laquelle la salinité a eu un effet négatif sur les graines imprégnées de fen, ainsi que pour la longueur des racines, qui était supérieure au témoin pour la variété Boussalam à toutes les concentrations salines étudiées, contrairement à la variété oued al bared pour laquelle le traitement au fenugrec n'a pas eu d'effet positif contre la salinité et était également inférieur au témoin. Ceci nous amène à conclure que ce traitement prégerminatif a eu un effet plus positif sur la variété *Boussalam*, ce qui prouve quel effet positif du fenugrec est tributaire de la variété et ceci grâce à son rôle comme antioxydant naturel pour combattre les radicaux libres.

Selon Yadav et *al.*, (2024), un panel de 25 extraits végétaux a été évalué pour leur potentiel en tant que biostimulants sur des plants de blé. Parmi ceux-ci, des extraits de *Phyllanthus emblica*, *Plumbago zeylanica*, *Catharanthus roseus* et *Bacopa monnieri* se sont révélés particulièrement efficaces pour stimuler la germination, favoriser la croissance des plantules, et accroître la production de métabolites secondaires. Une augmentation significative de l'activité de la catalase a été observée dans plusieurs traitements, indiquant une activation du système antioxydant des plantes. Dans notre étude, l'utilisation de biostimulants tels que l'extrait de fenugrec et l'extrait de graines germées (germe de blé) a également montré des effets bénéfiques face au stress salin. L'extrait de germe de blé, en particulier, s'est révélé efficace pour améliorer la résistance au sel chez les deux variétés testées, notamment à des concentrations salines modérées. En revanche, son effet s'est atténué sous des conditions de salinité plus sévères, ce qui suggère une efficacité dépendante de la concentration en sel.

Dans une expérience menée par Boucelha et Djebbar (2015) sur des graines de *Vigna unguiculata* prétraitées avec de l'eau et du PEG6000 en conditions de stress salin, il a été observé que les semences prétraitées présentaient un taux de germination et une vitesse de germination supérieurs à ceux des graines non traitées. Ces résultats concordent avec les observations de notre propre étude, en particulier chez la variété *Boussalam*, où la germination a débuté dès le premier jour pour la majorité des prétraitements, notamment ceux à base d'eau distillée et d'AIA, contrairement au témoin non traité. Par ailleurs, Boucelha et Djebbar (2015) ont mis en évidence une accumulation accrue d'acides aminés impliqués dans la croissance végétative, ainsi qu'une réduction significative de la teneur en proline libre, indiquant une baisse du stress oxydatif. Ces mécanismes, fondés sur l'ajustement osmotique et la régulation du métabolisme azoté, contribuent largement à expliquer l'amélioration de la tolérance au stress salin observée tant dans leur étude que dans la nôtre.

# **Conclusion**

## Conclusion

La présente étude a mis en évidence l'efficacité de différents prétraitements notamment l'eau distillée, les extraits naturels (fenugrec, germe de blé) et la phytohormone synthétique (AIA) dans l'amélioration de la germination et de la croissance de deux variétés de blé dur (*Boussalam* et *Oued El Barad*) soumises à un stress salin. Le prétraitement consiste à immerger les semences pendant une période déterminée afin de rompre leur dormance et de préparer les processus métaboliques nécessaires à une germination plus rapide et vigoureuse.

Les résultats ont montré que, quel que soit le type de traitement, les semences prétraitées présentaient des performances supérieures au témoin, en particulier en termes de taux de germination et de développement des plantules. Toutefois, l'efficacité des prétraitements dépend fortement de la variété testée et du niveau de stress salin appliqué. L'extrait de fenugrec s'est révélé bénéfique pour la germination de la variété *Boussalam*, tandis que l'extrait de germe de blé a été plus performant à des niveaux modérés de salinité. De plus, le traitement à l'AIA a eu un effet positif marqué sur l'ensemble des paramètres mesurés : taux de germination, longueur des radicules et des tigelles chez les deux variétés, quel que soit le niveau de salinité.

Compte tenu des résultats, l'utilisation d'extraits naturels comme biostimulants apparaît comme une stratégie prometteuse et durable. L'eau distillée, en tant que solution simple et peu coûteuse, pourrait également être valorisée pour un usage à grande échelle, notamment dans les zones agricoles défavorisées. À l'inverse, l'emploi de phytohormones synthétiques, bien que très efficace, peut être limité par leur coût élevé et les questions environnementales et sanitaires qu'elles soulèvent.

À la lumière de ces résultats, plusieurs perspectives de recherche et d'application peuvent être envisagées. Il serait pertinent d'approfondir l'étude des composés bioactifs présents dans les extraits naturels utilisés, notamment en identifiant les molécules responsables de la tolérance au stress salin. L'étude de nouvelles plantes locales à potentiel biostimulant pourrait également ouvrir des pistes d'innovation agricole adaptées aux conditions pédoclimatiques spécifiques. Par ailleurs, une évaluation sur le long terme des effets des prétraitements sur le rendement final au champ serait essentielle pour valider leur pertinence agronomique. Enfin, l'intégration de ces stratégies dans un programme global de gestion de la salinité pourrait contribuer à la résilience des systèmes agricoles face aux changements climatiques et à la dégradation des sols.

# **La bibliographie**

- Baazize, N., Snoussi, S.-A., & Saladin, G. (2021). Amélioration de la germination et de la résistance du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) à la salinité par la technique de priming. *Agrobiologia*, 11(1), 1–13.
- Bareke, T. (2018). Biology of seed development and germination physiology. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 8(4), 336–346.
- Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 14(1), 1–16. <https://doi.org/10.1079/SSR2003150>
- Bewley, J. D., & Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination* (2nd ed.). Springer
- Bewley, J. D. (1997). Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*, 9(7), 1055–1066.
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd ed.). Springer.
- 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. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 19(2), 160–172.
- Boucelha, L., & Djebbar, R. (2019, avril). Synthèse sur le priming des graines. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB), Faculté des Sciences Biologiques.
- Bradford, K. J. (1986). Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience*, 21(5), 1105–1112.
- Brooks, S., Athinuwat, D., & Na Chiangmai, P. (2020). Enhancing germination and seedling vigor of upland rice seed under salinity and water stresses by osmopriming. *Science & Technology Asia*, 25(2), 63–74
- Chorfi, A. (2009). Contribution à l'étude de la résistance à la salinité chez une variété de blé dur algérien (*Triticum durum* Desf.) var Mohamed Ben Bachir. *Sciences & Technologie C*, (29), 41–44. Université Mentouri Constantine.
- Dhal, P., Sahu, G., Dhal, A., Mohanty, S., & Dash, S. K. (2022). Priming of vegetable seeds: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 11(2), 519–525.
- Djermoun, A. (2009). La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie*, (1), 45–53.
- Ellouzi, H., Amraoui, S., & Hanana, M. (2023). Improving germination and growth performances of millet grown under saline conditions through seed priming. *Journal of*

- Oasis Agriculture and Sustainable Development, 5(5), 50–58.  
DOI :10.56027/JOASD.302023
- Evenari, M. (1984). Seed physiology: Its history from antiquity to the present. *Botanical Review*, 50(2), 153–194 DOI: 10.1007/BF02861090
  - Finch-Savage, W. E., & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, 171(3), 501–523..
  - Finkelstein R., Reeves W., Ariizumi T., and Steber C., 2008. Molecular aspects of seed dormancy. *Annual review of plant Biology*. 59 p387-415.
  - Groß, F., Durner, J., & Gaupels, F. (2013). Nitric oxide, antioxidants and prooxidants in plant defence responses. *Frontiers in Plant Science*, 4, Article 419.
  - Gueridi, S., Boucelha, L., Abrous-Belbachir, O., & Djebbar, R. (2024). Effects of hormoprimering and pretreatment with gibberellic acid on fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seed germination. *Acta Botanica Croatica*, 83(2), 135–144. 10.37427/botcro-2024-018
  - Heydecker, W. (1973). Germination of an idea: The priming of seeds. University of Nottingham School of Agriculture, Report 1973–1974, 50–67. CABI Digital Library.
  - Hopkins, W. G. (2003). *Physiologie végétale* (532 p.). De Boeck Supérieur.
  - Idris, M., & Aslam, M. (1975). The effect of soaking and drying seeds before planting on the germination and growth of *Triticum vulgare* under normal and saline conditions. *Canadian Journal of Botany*, 53(13).
  - Lutts, S., Benincasa, P., Wojtyła, Ł., Kubala, S., Pace, R., Ledwońska, K., Quinet, M., & Garnczarska, M. (2016). Seed priming: New comprehensive approaches for an old empirical technique. In A. Balestrazzi & S. Araújo (Eds.), *New challenges in seed biology: Basic and translational research driving seed technology* (pp. 1–46). InTech. <https://doi.org/10.5772/64420>
  - Mezzi Ou Melzi, C., Boucelha, L., Arrous-Belbachir, O., & Djebbar, R. (2021). Effects of hydropriming and chemical pretreatments of *Trigonella foenum-graecum* (L.) seeds on germination, antioxidant activities and growth. *Analele Universităţii din Oradea, Fascicula Biologie*, 28(2), 165–175.
  - Mirmazloum, I., Kiss, A., Erdélyi, É., Ladányi, M., Zámboriné Németh, É., & Radácsi, P. (2020). The effect of osmoprimering on seed germination and early seedling characteristics of *Carum carvi* L. *Agriculture*, 10(4), 94.

- Moradi, A., & Younesi, O. (2009). Effects of osmo- and hydro-priming on seed parameters of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(3), 1696–1700.
- N’Dri, A. A. N., Irie, V. B., Kouamé, P. L., & Zoro Bi, I. A. (2011). Bases génétiques et biochimiques de la capacité germinative des graines : Implications pour les systèmes semenciers et la production alimentaire. *Sciences & Nature*, 8(1), 119–137.
- Nonogaki, H. (2019). Seed germination and dormancy: The classic story, new puzzles, and evolution. *Journal of Experimental Botany*, 70(9), 2565–2576.
- Pandey, S. N., & Sinha, B. K. (2009). *Plant physiology* (4th ed.). Vikas Publishing House.
- Pradhan, N., Prakash, P., Tiwari, S. K., Manimurugan, C., Sharma, R. P., & Singh, P. M. (2014). Osmopriming of tomato genotypes with polyethylene glycol 6000 induces tolerance to salinity stress. *Trends in Biosciences*, 7(24), 4412–4417.
- Raj, A. B., & Raj, S. K. (2019). Seed priming: An approach towards agricultural sustainability. *Journal of Applied and Natural Science*, 11(1), 227–234.
- Soppe, W. J., & Bentsink, L. (2016, August 16). Dormancy in plants. In *The role of dormancy in plants under natural and agricultural conditions*.
- Seleiman, M. F., Aslam, M. T., Alhammad, B. A., Hassan, M. U., Maqbool, R., Chattha, M. U., Rana, R. M., & Battaglia, M. L. (2022). Salinity stress in wheat: Effects, mechanisms and management strategies. *Phyton – International Journal of Experimental Botany*, 91(4), 667–694
- Stroganov, B. P. (1964). *Physiological basis of salt tolerance of plants*. Israel Program for Scientific Translations.
- Taylor, A. G., Allen, P. S., Bennett, M. A., Bradford, K. J., Burris, J. S., & Misra, M. K. (1998). Seed enhancements. *Seed Science Research*, 8(2), 245–256.
- Varier, A., Vari, A. K., & Dadlani, M. (2010). The subcellular basis of seed priming. *Current Science*, 99(4), 450–456.
- Withers, P. C., & Cooper, C. E. (2010). Metabolic depression: A historical perspective. In C. A. Navas & J. E. Carvalho (Eds.), *Aestivation: Molecular and physiological aspects* (pp. 1–23)
- Yadav, A., Singh, S., Yadav, V (2024). Screening herbal extracts as biostimulant to increase germination, plant growth and secondary metabolite production in wheatgrass. *Scientific Reports*, 14(1)

# **Annexes**

**Tableau 1:** Tests des effets intersujets pour le Taux de germination

Variable dépendante : TG%					
Source	Somme des carrés de Type III	df	Carré moyen	F	Sig.
Modèle corrigé	1932,639 <sup>a</sup>	47	41,120	3,483	,000
Constante	1390434,028	1	1390434,028	117777,941	,000
Variété	17,361	1	17,361	1,471	,228
Prétraitement	136,806	5	27,361	2,318	,049
Salinité	357,639	3	119,213	10,098	,000
Variété * Prétraitement	236,806	5	47,361	4,012	,002
Variété * Salinité	74,306	3	24,769	2,098	,106
Prétraitement * Salinité	654,861	15	43,657	3,698	,000
Variété * Prétraitement * Salinité	454,861	15	30,324	2,569	,003
Erreur	1133,333	96	11,806		
Total	1393500,000	144			
Total corrigé	3065,972	143			

a. R-deux = ,630 (R-deux ajusté = ,449)

**Tableau 2 :** Différence significative de test Tukeya pour TG%

	N	Sous-ensemble
Prétraitement		1
Fénu grec	24	97,08
Témoin	24	97,08
AIA10	24	97,92
Germe	24	98,75
Eau	24	99,17
AIA50	24	99,58
Sig.		,128

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.  
Calcul basé sur les moyennes observées.  
Le terme d'erreur est le carré moyen (Erreur) = 11,806.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 24,000.

**Tableau 3:** Différence significative de test Tukeya pour la salinité

Salinité	N	Sous-ensemble	
		1	2
150g/l	36	95,56	
0g/l	36		98,89
50g/l	36		99,17
100g/l	36		99,44
Sig.		1,000	,902
Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.			
Calcul basé sur les moyennes observées.			
Le terme d'erreur est le carré moyen (Erreur) = 11,806.			
a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 36,000.			
b. Alpha = 0,05.			

**Tableau 4:** Tests des effets intersujets pour longueur de la tigelle

Variable dépendante : Longueur de la tigelle					
Source	Somme des carrés de Type III	df	Carré moyen	F	Sig.
Modèle corrigé	2814,779 <sup>a</sup>	47	59,889	27,058	,000
Constante	7168,303	1	7168,303	3238,623	,000
Variété	24,577	1	24,577	11,104	,001
Prétraitement	16,629	5	3,326	1,503	,196
Salinité	2608,586	3	869,529	392,851	,000
Variété * Prétraitement	39,760	5	7,952	3,593	,005
Variété * Salinité	65,261	3	21,754	9,828	,000
Prétraitement * Salinité	28,749	15	1,917	,866	,603
Variété * Prétraitement * Salinité	31,217	15	2,081	,940	,523
Erreur	212,484	96	2,213		
Total	10195,566	144			
Total corrigé	3027,263	143			
a. R-deux = ,930 (R-deux ajusté = ,895)					

**Tableau 5:** Test tukey de Longueur de la tige pour la salinité

Différence significative de Tukey <sup>a,b</sup>					
Salinité	N	Sous-ensemble			
		1	2	3	4
150g/l	36	1,532778			
100g/l	36		4,431111		
50g/l	36			10,158056	
0g/l	36				12,100000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.					
Calcul basé sur les moyennes observées.					
Le terme d'erreur est le carré moyen (Erreur) = 2,213.					
a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 36,000.					
b. Alpha = 0,05.					

**Tableau 6:** Tests des effets intersujets de la Longueur de radicule

Variable dépendante : Longueur de la radicule					
Source	Somme des carrés de Type III	df	Carré moyen	F	Sig.
Modèle corrigé	2007,252 <sup>a</sup>	47	42,707	6,001	,000
Constante	7883,072	1	7883,072	1107,669	,000
Variété	201,403	1	201,403	28,300	,000
Prétraitement	14,613	5	2,923	,411	,840
Salinité	1315,245	3	438,415	61,603	,000
Variété * Prétraitement	18,271	5	3,654	,513	,765
Variété * Salinité	336,206	3	112,069	15,747	,000
Prétraitement * Salinité	67,179	15	4,479	,629	,844
Variété * Prétraitement * Salinité	54,335	15	3,622	,509	,930
Erreur	683,214	96	7,117		
Total	10573,538	144			
Total corrigé	2690,466	143			
a. R-deux = ,746 (R-deux ajusté = ,622)					

**Tableau 7:** Test de Tukey de la Longueur de racine

Différence significative de Tukey <sup>a,b</sup>				
Salinité	N	Sous-ensemble		
		1	2	3
150g/l	36	3,353889		
100g/l	36		5,720278	
50g/l	36			9,562500
0g/l	36			10,958889
Sig.		1,000	1,000	,125
Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.				
Calcul basé sur les moyennes observées.				
Le terme d'erreur est le carré moyen (Erreur) = 7,117.				
a. Utilisez la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 36,000.				

# **Les Résumés**

## المخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير معالجات ما قبل الإنبات المختلفة ( وهي الماء المقطر والمستخلصات الطبيعية والهرمون النباتي الاصطناعي) على إنبات صنفين من القمح القاسي (*Triticum durum*)، بوسلام وواد البارد، المعرضين لعدة مستويات من الإجهاد الملحي (0 جم / لتر، 100 جم / لتر، 150 جم / لتر من كلوريد الصوديوم). تم نقع البذور مسبقاً لمدة 16 ساعة في محاليل المعالجة، ثم تم السماح لها بالإنبات تحت تركيزات مختلفة من الملح. وتكشف النتائج التي تم الحصول عليها أن تحسين قوة الإنبات في ظل ظروف الملوحة يعتمد بشكل وثيق على الصنف ونوع المعالجة المسبقة المطبقة ومستوى الإجهاد. لقد لاحظنا تأثيراً إيجابياً ملحوظاً لمستخلص الحلبة على طول جذور وسيقان صنف بوسلام، مقارنة بالبذور غير المعالجة. علاوة على ذلك، أثبت حمض إندول-3-أسيتيك (AIA) فعاليته بشكل خاص في جميع المعلمات المقاسة، وهذا بالنسبة للصنفين المدروسين. بالإضافة إلى ذلك، أظهر مستخلص جنين القمح تأثيراً إيجابياً في ظل ظروف الملوحة المعتدلة، على الرغم من أن أداءه كان أقل جودة عند مستويات أعلى.

الكلمات المفتاحية القمح القاسي، الإنبات، الإجهاد الملحي، المعالجة المسبقة

## Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet de différents traitements prégerminatifs à savoir l'eau distillée, des extraits naturels et une phytohormone synthétique sur la germination de deux variétés de blé dur (*Triticum durum*), *Boussalam* et *Oued El Bared*, soumises à plusieurs niveaux de stress salin (0 g/L, 100 g/L, 150 g/L de NaCl). Les graines ont été préalablement trempées pendant 16 heures dans les solutions de traitement, puis mises à germer sous les différentes concentrations salines. Les résultats obtenus révèlent que l'amélioration du pouvoir germinatif en conditions de salinité dépend étroitement de la variété, du type de prétraitement appliqué et du niveau de stress. ; Nous avons observé un effet favorable notable de l'extrait de fenugrec sur la longueur des racines et celle des tiges de la variété *Boussalam*, comparativement aux graines non traitées. Par ailleurs, l'AIA (acide indole-3-acétique) s'est révélé particulièrement efficace sur l'ensemble des paramètres mesurés, et ce pour les deux variétés étudiées. De plus, l'extrait de germe de blé a montré un impact positif dans des conditions de salinité modérée, bien qu'il ait été moins performant à des niveaux plus élevés.

**Mots clés :** blé dur, germination, stress salin, prétraitement

## Abstract

This study aims to evaluate the effect of different pre-germination treatments—namely distilled water, natural extracts, and a synthetic phytohormone on the germination of two durum wheat (*Triticum durum*) varieties, *Boussalam* and *Oued El Bared*, subjected to several levels of saline stress (0 g/L, 100 g/L, 150 g/L of NaCl). The seeds were previously soaked for 16 hours in the treatment solutions and then allowed to germinate under different saline concentrations. The results obtained reveal that the improvement of germination power under salinity conditions depends closely on the variety, the type of pretreatment applied, and the stress level. We observed a significant positive effect of fenugreek extract on root and stem length of the *Boussalam* variety, compared to untreated seeds. Furthermore, AIA (indole-3-acetic acid) was particularly effective on all measured parameters for both varieties studied. In addition, wheat germ extract showed a positive impact under moderate salinity conditions, although it was less effective at higher levels.

**Keywords:** durum wheat, germination, salt stress, pretreatment



## Déclaration de correction de mémoire de master 2025

Référence du mémoire N°: ..... / 2025	PV de soutenance N°: ..... / 2025
---------------------------------------	-----------------------------------

Nom et prénom (en majuscule) de l'étudiant (e) : Medouana H. Meriem	لقب و اسم الطالب (ة) : .....
--	---------------------------------

La mention التقدير	Note (./20) العلامة	L'intitulé de mémoire عنوان المذكرة
.....	17.5	Effets des traitements prégerminatifs sur la tolérance au stress salin au stade de germination chez le blé dur <i>Triticum durum Desf.</i>

### Déclaration et décision de l'enseignant promoteur : تصريح وقرار الأستاذ المشرف :

<p><b>Déclaration :</b>                  Je soussigné (e), <u>Bellehoucha Hafid</u> (grade) <u>M.C.B.</u> à l'université de <u>Biskra</u>, avoir examiné intégralement ce mémoire après les modifications apportées par l'étudiant.  <b>J'atteste que :</b>                  * le document a été corrigé et il est conforme au model de la forme du département SNV                  * toutes les corrections ont été faites strictement aux recommandations du jury.                  * d'autres anomalies ont été corrigées</p>	<p><b>تصريح :</b>                  أنا الممضي (ة) أسفله <u>.....</u> (الرتبة) <u>M.C.B.</u> بجامعة <u>.....</u>                  أصرح بأنني راجعت محتوى هذه المذكرة كليا مراجعة دقيقة وهذا بعد التصحيحات التي أجراها الطالب بعد المناقشة، وعليه أشهد بأن :                  * المذكرة تتوافق بشكلها الحالي مع النموذج المعتمد لقسم علوم الطبيعة والحياة.                  * المذكرة صحت وفقا لكل توصيات لجنة المناقشة                  * تم تدارك الكثير من الإختلالات المكتشفة بعد المناقشة</p>
---	--

<p><b>Décision :</b>                  Sur la base du contenu scientifique, de degré de conformité et de pourcentage des fautes linguistiques, <b>Je décide</b> que ce mémoire doit être classé sous la catégorie</p>	<p><b>قرار :</b>                  اعتمادا على درجة مطابقتها للنموذج ، علي نسبة الأخطاء اللغوية وعلى المحتوى العلمي أقرر أن تصنف هذه المذكرة في الدرجة :</p>												
<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>acceptable مقبول</td> <td>ordinaire عادي</td> <td>bien حسن</td> <td>très bien جيد جدا</td> <td>excellent ممتاز</td> <td>exceptionnel متميز</td> </tr> <tr> <td><b>E</b></td> <td><b>D</b></td> <td><b>C</b></td> <td><b>B</b></td> <td><b>A</b></td> <td><b>A+</b></td> </tr> </table>	acceptable مقبول	ordinaire عادي	bien حسن	très bien جيد جدا	excellent ممتاز	exceptionnel متميز	<b>E</b>	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A+</b>	
acceptable مقبول	ordinaire عادي	bien حسن	très bien جيد جدا	excellent ممتاز	exceptionnel متميز								
<b>E</b>	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A+</b>								

مسؤول المكتبة
إدارة القسم
الأستاذ المشرف
التاريخ

2025 / 06 / 12



## Déclaration de correction de mémoire de master 2025

Référence du mémoire N°: ..... / 2025	PV de soutenance N°: ..... / 2025
---------------------------------------	-----------------------------------

Nom et prénom (en majuscule) de l'étudiant (e) :	لقب و اسم الطالب (ة) :
HALIMA ACHRAF	حليمه أشراف

La mention التقدير	Note (./20) العلامة	L'intitulé de mémoire عنوان المذكرة
.....	.....	Effets des traitements pré-germinatifs sur la tolérance au stress salin au stade de germination chez le blé ( <i>Triticum durum</i> Desf.)

### Déclaration et décision de l'enseignant promoteur : تصريح وقرار الأستاذ المشرف :

<p><b>Déclaration :</b></p> <p>Je soussigné (e), <u>Belkhenache Hafide</u> (grade) <u>M.C.B.</u> à l'université de <u>Biskra</u>, avoir examiné intégralement ce mémoire après les modifications apportées par l'étudiant.</p> <p><b>J'atteste</b> que :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* le document a été corrigé et il est conforme au model de la forme du département SNV</li> <li>* toutes les corrections ont été faites strictement aux recommandations du jury.</li> <li>* d'autres anomalies ont été corrigées</li> </ul>	<p><b>تصريح :</b></p> <p>أنا الممضي (ة) أسفله <u>Belkhenache Hafide</u> (الرتبة) <u>M.C.B.</u> بجامعة <u>Biskra</u>، أصرح بأنني راجعت محتوى هذه المذكرة كليا مراجعة دقيقة وهذا بعد التصحيحات التي أجراها الطالب بعد المناقشة، وعليه أشهد بان :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* المذكرة تتوافق بشكلها الحالي مع النموذج المعتمد لقسم علوم الطبيعة والحياة.</li> <li>* المذكرة صححت وفقا لكل توصيات لجنة المناقشة</li> <li>* تم تدارك الكثير من الإختلالات المكتشفة بعد المناقشة</li> </ul>
---	--

<p><b>Décision :</b></p> <p>Sur la base du contenu scientifique, de degré de conformité et de pourcentage des fautes linguistiques, <b>Je décide</b> que ce mémoire doit être classé sous la catégorie</p>	<p><b>قرار :</b></p> <p>اعتمادا على درجة مطابقتها للنموذج، علي نسبة الأخطاء اللغوية وعلى المحتوى العلمي أقرر أن تصنف هذه المذكرة في الدرجة</p>												
<table border="1"> <tr> <td>مقبول acceptable</td> <td>عادي ordinaire</td> <td>حسن bien</td> <td>جيد جدا très bien</td> <td>ممتاز excellent</td> <td>متميز exceptionnel</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>D</td> <td>C</td> <td><b>B</b></td> <td>A</td> <td>A+</td> </tr> </table>	مقبول acceptable	عادي ordinaire	حسن bien	جيد جدا très bien	ممتاز excellent	متميز exceptionnel	E	D	C	<b>B</b>	A	A+	
مقبول acceptable	عادي ordinaire	حسن bien	جيد جدا très bien	ممتاز excellent	متميز exceptionnel								
E	D	C	<b>B</b>	A	A+								



الأستاذ المشرف  
[Signature]

التاريخ  
 2025 / 06 / 05