



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعرييرج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimî B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



## Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Amélioration des plantes

### Intitulé :

**Etude de quelques effets du stress hydrique et salin sur  
la morphologie, la physiologie et la biochimie du blé dur  
(*Triticum durum Desf.*)**

### Présenté par :

KHOUDOUR Khaled & MEBAREK Amdjed

Soutenu le 25 / 06/ 2023, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
<b>Président :</b>	Mme. TABTI Dahbia	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.
<b>Encadrant :</b>	M. ZAFOUR Mohamed Djalil	MAB	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.
<b>Examineur :</b>	M .FELLAHI Zineelabidine	MCA	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.

Année Universitaire 2022/2023

## **Remerciements**

*Avant tout, nous remercions ALLAH tout puissant, De Nous avoir accordé la force, le courage, la volonté et la patience pour terminer ce travail.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à tous Ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation tout au long de notre parcours universitaire, notamment :*

*Les membres du jury de nous avoir accordé du temps et de la patience pour évaluer notre travail.*

*Nous tenons à remercier Notre promoteur **Dr. ZAAFOUR DJALIL**, maitre de conférences à l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi – Bordj Bou Arreridj. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Pour avoir accepté de nous encadrer ainsi que pour ses précieux conseils et orientations, sa disponibilité.*

*Tout notre remerciement également et chaleureusement, **M<sup>me</sup> Kelaleche. et Dr Fellahi. Zineelabidine** qui nous ont conseillé et orienté, vous trouvé ici l'expression de ma profond gratitude.*

*Nous voudrions aussi exprimer notre vive reconnaissance envers tous les enseignants de notre spécialité Amélioration des plants et département des sciences agronomiques.*

## ***Dédicace***

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, je dédie mon travail à mes très chers respectueux et magnifique parents Farid et Khadidja , qui m'ont soutenus toute au long de ma vie.*

*A mes frères Housseem et Akram et ma sœur Atika, qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite.*

*À mes oncles et mes très chères tantes, Vous qui avez toujours été là pour me soutenir et m'encourager.*

*À mes très chères amis, Aymen, Khaled , Akram, Amire, Safir, Amine, Walid, Oussama, Nasreddin, Mahdi, Anouar, Daoud, Wassim. Je vous dédie ce travail en témoignage de ma grande affection et en souvenir des agréables moments passés ensemble. Vous êtes les meilleures*

*À tous mes proches, même si je ne puis vous citer un à un, je ne vous oublie pas;*

*À mes deux familles, MEBAREK et BOUZID.*

## ***Dédicace***

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, je dédie mon travail à mes très chers respectueux et magnifique parents **Abdennour et Rebiha**, qui m'ont soutenus toute au long de ma vie.

A mes frères : Adel et sa femme charra ,Abderrahman, Bachir,Abdelmalek ,Saleh, Thebte .  
ma sœur et son mari :Hanen et Nabil qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite.

À mes oncles et mes très chères tantes, Vous qui avez toujours été là pour me soutenir et m'encourager.

À mes très chères amis : Elhadj, Adem, Miloud , Nadji, Monther,Amir , Safir, Aymen ,Amdjed, Amine, Walid, Oussama, Nasreddin, Souhaib,Akrem,Yakoub, Mohamed . Je vous dédie ce travail en témoignage de ma grande affection et en souvenir des agréables moments passés ensemble. Vous êtes les meilleures

À tous mes proches, même si je ne puis vous citer un à un, je ne vous oublie pas;

À mes deux familles, KHOUDOOR et BEN BOUGARR

**KHALED**

# Sommaire

Introduction.....	1
-------------------	---

## CHAPITRE I : Revue bibliographique

### Partie 1

1. Historique de blé.....	2
2. La production de blé.....	3
2.1. Dans le monde.....	3
2.2. En Algérie.....	3
3. Classification du blé dur .....	3
4. La plante.....	4
4.1. Description de la plante .....	4
4.2. Composition de la graine de la plante .....	4
4.3. Le cycle de développement du blé.....	5
a. La période végétative.....	5
b. La période reproductive.....	6
c. La phase de maturation.....	6

## CHAPITRE I: Revue bibliographique

### Partie 2

1. Définition du stress.....	7
2. Types de stress.....	7
2.1. Le stress salin.....	7
2.2. Stress hydrique .....	8
2.3. Stress ionique .....	8
2.4. Stress nutritionnel .....	8
3. Effets du stress.....	8
3.1 Effets du stress hydrique.....	8
3.1.1. Sur la germination.....	8
3.1.2. Sur la morphologie de la plante.....	9
3.1.3. Sur la physiologie de la plante.....	9
3.2. Effets du stress salin.....	10
3.2.1. sur la germination.....	10
3.2.2. Sur la morphologie de la plante.....	10
3.2.3. Sur la physiologie de la plante.....	11

# Sommaire

4. Mécanismes d'adaptation aux stress salin et hydrique.....	12
4.1. Régulation stomatique et capacité photosynthétique .....	12
4.2. Maintien de la balance hydrique et accumulation des osmolytes.....	12
4.2.1. <i>Les sucres solubles</i> .....	13
4.2.2. <i>La proline</i> .....	13
5. Mécanismes d'adaptation au stress ionique.....	14
5.1. L'exclusion des sels.....	14
5.2. La compartimentation vacuolaire ou l'inclusion.....	14
5.3. La sélectivité .....	14

## CHAPITRE II : Matériel et méthodes

1. Matériel végétal .....	15
2. Mise en place des essais .....	15
3. Effet des stress salin et hydrique sur la germination (Essai 01) .....	15
3.1. Conditions de germination .....	15
3.2. Paramètres étudiés .....	16
3.2.1. <i>Taux de germination final (G, %)</i> .....	16
3.2.2. <i>Indice de tolérance (IT)</i> .....	16
3.2.3 <i>Cinétique de germination (CG, %)</i> .....	17
3.2.4 <i>Germination moyenne journalière (GMJ, %)</i> .....	17
3.2.5. <i>Nombre de racines (NBR)</i> .....	17
4. Effet du stress salin et hydrique sur les caractères physiologiques et biochimiques (Essai 02).....	17
4.1. Germination et mise en culture.....	17
4.2. Application des stress .....	18
4.3. Paramètres physiologiques et biochimiques étudiés .....	18
4.3.1. <i>Teneur relative en eau (TRE %)</i> .....	18
4.3.3. <i>Dosage de la proline (<math>\mu\text{g}/100\text{ mg MF}</math>)</i> .....	19

# Sommaire

## CHAPITRE III : Résultats et discussion

1. Effet des stress salin et hydrique sur la germination.....	22
1.1. Variation des taux de germination finale (G, %) et indice de tolérance (IT).....	22
1.2. Evolution de la cinétique de germination (CG, %) .....	24
1.3. Germination Moyenne Journalière (GMJ, %).....	27
1.4. Nombre de racines (NBR) .....	28
2. Effet des stress salin et hydrique sur des caractères physiologiques et biochimiques.....	30
2.1 la teneur relative en eau (TRE, %).....	30
2.2. Evolution des teneurs en proline ( $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ ) .....	33
3. Discussion Générale.....	35

## Conclusion

.....	37
-------	----

## Références bibliographie

.....	38
-------	----

## Annexes

## Résumé

## Liste de Tableau

---

<b>Tableau 1 :</b> Carrés moyens de l'analyse de variance du pourcentage de germination finale (G, %) des deux variétés de blé dur testées à 0,100 ,200 et 300 mM de NaCl .....	23
<b>Tableau 2:</b> Carrés moyens de l'analyse de variance du pourcentage de germination finale (G, %) des deux variétés de blé dur testées à 0, 10 et 20% de PEG-6000.....	24
<b>Tableau 3 :</b> Carrés moyens de l'analyse de variance du nombre de racines (NBR) des deux variétés de blé dur testées sous conditions de stress salin (NaCl).....	30
<b>Tableau 4 :</b> Carrés moyens de l'analyse de variance du nombre de racines (NBR) des deux variétés de blé dur testées sous conditions de stress hydrique (PEG-6000).....	30
<b>Tableau 5:</b> Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur relative en eau (TRE) des deux variétés de blé dur testées au stress salin.....	32
<b>Tableau 6 :</b> Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur relative en eau (TRE) des deux variétés de blé dur testées au stress hydrique.....	33
<b>Tableau 7 :</b> Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur en proline (Pro) des deux variétés de blé dur testées à 0, 100,200 et 300 mM de NaCl.....	34
<b>Tableau 8 :</b> Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur en proline (Pro) des deux variétés de blé dur testées à 0, 10 et 20% de PEG-6000.....	35

## Liste de Figure

---

<b>Figure 1 :</b> Anatomie du grain de blé dur.....	5
<b>Figure 2:</b> Le cycle de développement du blé. ....	6
<b>Figure 3:</b> Dispositif utilisé pour la germination. ....	16
<b>Figure 4 :</b> Dispositif utilisé pour l'essai en pots. ....	18
<b>Figure 5:</b> Matériel utilisé pour déterminer la teneur en eau.....	19
<b>Figure 6:</b> Etapes à suivre pour le dosage de la proline.....	21
<b>Figure 7 :</b> Evolution de la capacité de germination sous différentes conditions de stress. ....	22
<b>Figure 8 :</b> Evolution de la capacité de germination sous différentes conditions de stress hydrique.....	23
<b>Figure 9 :</b> Effets de différentes concentrations de NaCl (0, 100 ,200 et 300 mM) sur la cinétique de germination de la variété Oued El Bared. ....	25
<b>Figure 10 :</b> Effets de différentes concentrations de PEG-6000 (0, 10% et 20%) sur la cinétique de germination de la variété Oued El Bared. ....	25
<b>Figure 11 :</b> Effets de différentes concentrations de NaCl (0, 100 ,200 et 300 mM) sur la cinétique de germination de la variété Bousselam. ....	26
<b>Figure 12 :</b> Effets de différentes concentrations de PEG-6000 (0, 10% et 20%) sur la cinétique de germination de la variété Bousselam. ....	26
<b>Figure 13:</b> Effets de différentes concentrations de NaCl (0, 100,200 et 300 mM) sur la moyenne journalière de germination des variétés de blé dur étudiées. ....	27
<b>Figure 14 :</b> Effets de différentes concentrations de PEG-6000 (0, 10% et 20%) sur la moyenne journalière de germination des variétés de blé dur étudiées. ....	28
<b>Figure 15:</b> Nombre de racines sous condition contrôlé (0 mM) et sous différentes conditions de stress salin (NaCl à 100,200 et 300 mM) chez les variétés de blé dur étudiées. ....	29

## Liste de Figure

---

- Figure 16:** Nombre de racines sous condition contrôle (0%) et sous différentes conditions de stress hydrique (PEG-6000 à 10% et 20%) chez les variétés de blé dur étudiées. ....29
- Figure 17 :** Variation de la teneur relative en eau (TRE) sous différentes conditions de stress salin (NaCl à 0, 100,200 et 300 mM) chez les variétés de blé dur étudiées.31.
- Figure 18 :** Variation de la teneur relative en eau (TRE) sous différentes conditions de stress Hydrique (PEG-6000 à 0, 10% et 20%) chez les deux variétés de blé dur étudiées.....32
- Figure 19 :** Variation de la teneur en prolines sous différentes conditions de stress salin (NaCl à 0, 100,200 et 300 mM) chez les deux variétés de blé dur étudier. ....33
- Figure 20 :** Variation de la teneur en prolines sous différentes conditions de stress hydrique (PEG-6000 à 0, 10% et 20%) chez les deux variétés de blé dur étudier.....34

# Liste des abréviations et acronymes

---

## Liste des abréviations et des acronymes

**Bou** : Bousselam.

**O Brd** : Oued El Bared.

**CCLS** : Coopérative des Céréales et Légumes Sec.

**ICARDA** : International Center of Agriculture Research in the Dry Areas.

**CIMMYT** : International Maize and Wheat Improvement Center.

**PEG** : Poly Ethylène Glycol.

**ROS** : Reactive Oxygen Species « espèces réactives de l'oxygène ».

**FAO** : Organisation Des Nations Unies pour L'alimentation et Agriculture.

**CV** : coefficient de variance.

**PF** : Poids Frais.

**PT** : Poids de Turgescence.

**PS** : Poids Sec.

# **Introduction**

## Introduction:

Les céréales représentent une part essentiel de l'alimentation humaine et animal, notamment le blé dur (*Triticum durum* Desf.) qui Compte parmi les espèces les plus anciennes. Il a été également considéré comme l'une des céréales les plus employées dans l'alimentation des populations mondiales (**Karakas et al., 2011**).

L'Algérie est l'un des plus grands consommateurs de blé au monde. Les importations algériennes de blé devraient atteindre, en 2023, 8,3 millions de tonnes. C'est ce que vient rapporter le département américain de l'Agriculture, en ce mois de février 2023. Ce chiffre représente le volume d'importation de blé le plus élevé depuis 2016-17. Cela représente presque 1 million de tonnes de plus comparativement à l'année précédente (2022). Le blé constitue environ 60 % de la ration alimentaire des Algériens. La consommation nationale de cette denrée tourne autour de 11 millions de tonnes par an. Ce chiffre est susceptible de légèrement augmenter cette année [1].

La sécheresse et la salinité sont les contraintes environnementales qui causent le plus de dommage aux productions agricoles. En effet, chaque année les surfaces abîmées à cause de ces deux stress sont considérables. Un milliard d'hectares sont menacés dans le monde dont 3,2 millions en Algérie (**Toumi et al., 2014**).

Cette dégradation du couvert végétal est surtout valable pour les zones arides et semiarides où les changements climatiques deviennent de plus en plus contraignants pour la croissance et le développement des plantes. Ces écosystèmes sont caractérisés par une forte irrégularité des précipitations (**Rezgui et al, 2004**), associée à une importante évaporation favorisant l'accumulation des sels dans le sol (**Hayek et Abdely, 2004**).

Pour faire face à de telles situations hostiles, les plantes ont développé des stratégies en mettant en place des mécanismes de réponse leur permettant d'ajuster leur système métabolique. La tolérance est un phénomène complexe, faisant intervenir de nombreux éléments. Ces derniers interagissent entre eux et agissent en synergie afin d'aboutir à une réponse coordonnée et efficace (**Oukarroum, 2007**).

Dans ce contexte et à travers notre étude nous avons essayé de répondre aux objectifs suivants :

- Evaluer le comportement germinatif de deux variétés de blé dur soumises à un stress salin imposé par le NaCl et un stress hydrique imposé par l'utilisation du PEG-6000.
- Effectuer une étude comparative de quelques mécanismes de réponse relative aux stress salin et hydrique.

# **Chapitre I**

## **Revue bibliographique**

## 1. Historique de blé

Le blé fait partie des trois céréales monocotylédones qui constituent la base alimentaire des populations du globe : blé, riz, maïs. L'origine du blé (*Triticum*), du maïs (*Zea*) et du riz (*Oryza*) semble être commune : étant donné les nombreux gènes communs deux à deux ou dans les trois genres, on pense que ces genres se sont diversifiés, il y a quelques 60 à 70 millions d'années, à partir d'une espèce ancestrale qui aurait contenu tous les gènes dispersés chez les trois espèces actuelles (**Yves et Jacques, 2000**).

Les premiers indices d'une agriculture apparaissent vers 9.000 ans avant Jésus-Christ dans le croissant fertile. Les formes sauvages identifiées des diverses espèces (amidonnier sauvage, pois chiche sauvage, vesce sauvage) seraient originaires du Proche-Orient et du Moyen-Orient.

La céréaliculture se répand ensuite vers l'Europe, l'Asie et la vallée du Nil. Le froment est présent en Grèce il y a 6.000 ans avant Jésus Christ et se propage par la méditerranée et le Danube. Ainsi, en Bretagne, on a trouvé des grains datant d'environ 5.000 avant Jésus-Christ (**Yves et Jacques, 2000**).

Le blé constitue un groupe d'espèces polyploïdes (dont certaines espèces, polyploïdes, possèdent plusieurs jeux de chromosomes :  $(2n, 4n, 6n : \text{avec } n = 7)$ ). L'espèce actuelle diploïde est l'engrain (*Triticum monococcum*), rarement cultivé en France mais probablement domestiquée vers 8.000 ans avant Jésus-Christ, elle a probablement issu de croisement de plusieurs blés sauvages diploïdes. Ces blés ont probablement donné naissance, vers 15.000 ans avant Jésus-Christ, à un blé tétraploïde ( $4n$ ) dont le représentant actuel est l'amidonnier (*Triticum dicoccum*) qui aurait été domestiqué vers 10.000 ans avant Jésus-Christ. Cet amidonnier n'est pratiquement plus cultivé en France mais le reste dans les montagnes de l'Europe Centrale.

Le blé dur actuel (*Triticum durum*), cultivé, est un blé tétraploïde issu d'une sélection réalisée à partir de l'amidonnier et qui daterait du temps de Jésus-Christ. Enfin, le blé tendre ou froment (*Triticum aestivum*) est hexaploïde ( $6n$ ) et issu d'un double croisement récent entre une graminée sauvage diploïde (*Aegilops squarrosa* ou *Æ. Ovata* ou *Triticum tauschii*) et l'amidonnier tétraploïde (**Yves et Jacques, 2000**).

## 2. La production de blé

### 2.1. Dans le monde

En 2018, la production mondiale de blé a atteint 758 millions de tonnes selon la FAO, ce qui représente 24,04 tonnes par seconde (compteur), le record historique de la production mondiale de blé. [3]

### 2.2. En Algérie

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique est perçue d'une manière claire à travers toutes les phases de la filière (**Djermoun, 2009**).

La filiale des céréales a enregistré en 2017 une production nationale de 34.702.520 quintaux, soit l'équivalent de 135,3 milliards de da, a appris dimanche l'APS auprès du ministère de l'Agriculture, du Développement rural et de la Pêche. [2]

## 3. Classification du blé dur

Le blé est une Angiosperme, Monocotylédone. Il appartient à l'ordre des Poales, famille des Poacées appelée aussi graminées. Cette famille rassemble 600 genres et plus de 5000 espèces (**Zegrary, 2014**).

D'après (**APG III, 2009**), la classification botanique du blé dur est la suivante :

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

## 4. La plante

### 4.1. Description de la plante

Graminée annuelle, en touffe, atteignant 150 cm de haut, à 2-5 talles ; tige cylindrique, lisse, creuse sauf aux nœuds. Feuilles alternes distique, simples et entières ; gaine arrondie, auriculée ; ligule membraneuse ; limbe linéaire, de 15-10 cm × 1-2 cm, à nervures parallèles, plat. Épi terminal distique de 4-18 cm de long, à épillets sessiles, solitaires sur un rachis en zigzag. Épillet de 10-15 mm de long, comprimé latéralement, à 3-9 fleurs bisexuées dont les 1-2 supérieures sont généralement rudimentaires. Fruit caryopse (grain) ellipsoïde, muni d'un sillon central sur l'une des faces, brune rougeâtre à jaune ou blanc (Céréale et les légumineuses). Les enveloppes sont épaisses sans transparence. Lors de passage entre les cylindres, se prêtent particulièrement bien à la mouture (**Feillet, 2000**).

### 4.2. Composition de la graine de la plante

L'albumen constitué de l'album en amylicé (au sien duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois cellulose sont peu visible) et de la couche à aleurone (80-85% du grain).

- **Les enveloppes du grain**

Formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe du grain), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe (13-17%).

- **Le germe**

Avec (3%), composé d'un embryon (lui-même formé de coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) (**Figure 01**). Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéine (10 à 15%) et de pentosanes (8 à 10%) ; les autres constituants pondéralement mineurs (quelque % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (**Feillet, 2000**).

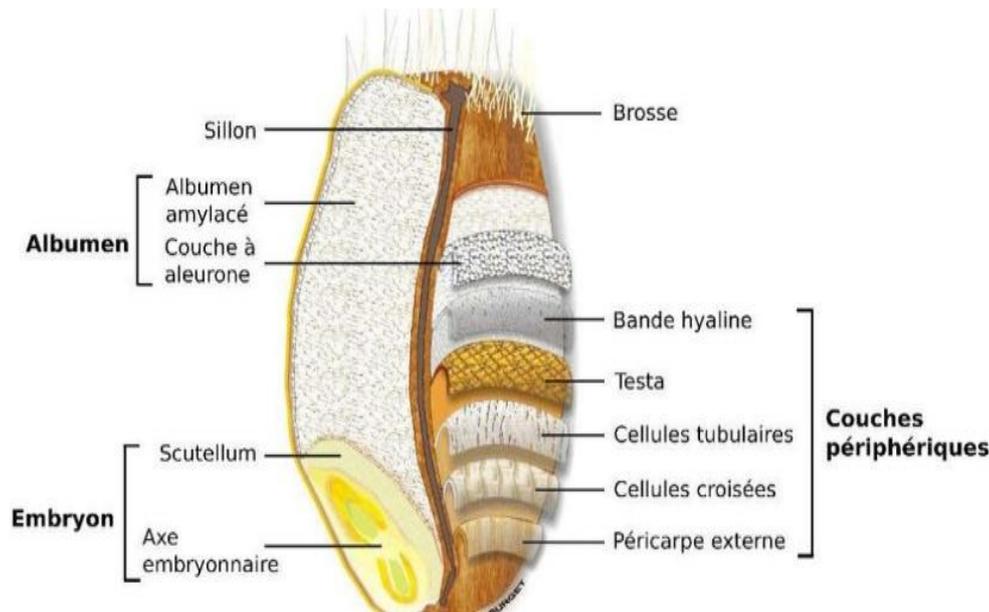


Figure 01 : Anatomie du grain de blé dur. [4]

### 4.3. Le cycle de développement du blé

Le cycle de développement du blé comprend trois principales phases :

La période Végétative → La période reproductrice → La période de maturation

#### a. La période végétative

Elle s'étend de la germination au tallage (Feillet, 2000), selon Boufenar *et al.*, (2006) et Bill, (2007) La germination est caractérisée par l'imbibition de la semence, la réactivation des enzymes et la dégradation des réserves assimilables par l'embryon, la radicule se dégage des enveloppes séminales, le sol est alors percé par la coléoptile qui est un étui protecteur de la première feuille.

La levée est caractérisée par le nombre de feuilles de la jeune plante et leur stade de développement (Giban *et al.*, 2003).

Le tallage comporte trois principaux stades : début de tallage, plein et fin tallage. Cette phase commence à partir de la quatrième feuille et elle se caractérise par l'entrée en croissance des bourgeons différenciés à l'aisselle de la première feuille, dont le bourgeon donnera le maître brin (Soltner, 2005). Le fin tallage est celle de la fin de la période végétative (Gate, 1995).

Elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Soltner, 2005).

**b. La période reproductive**

La période reproductive comporte trois principales phases : la montaison, l'épiaison et la phase de floraison (Feillet, 2000).

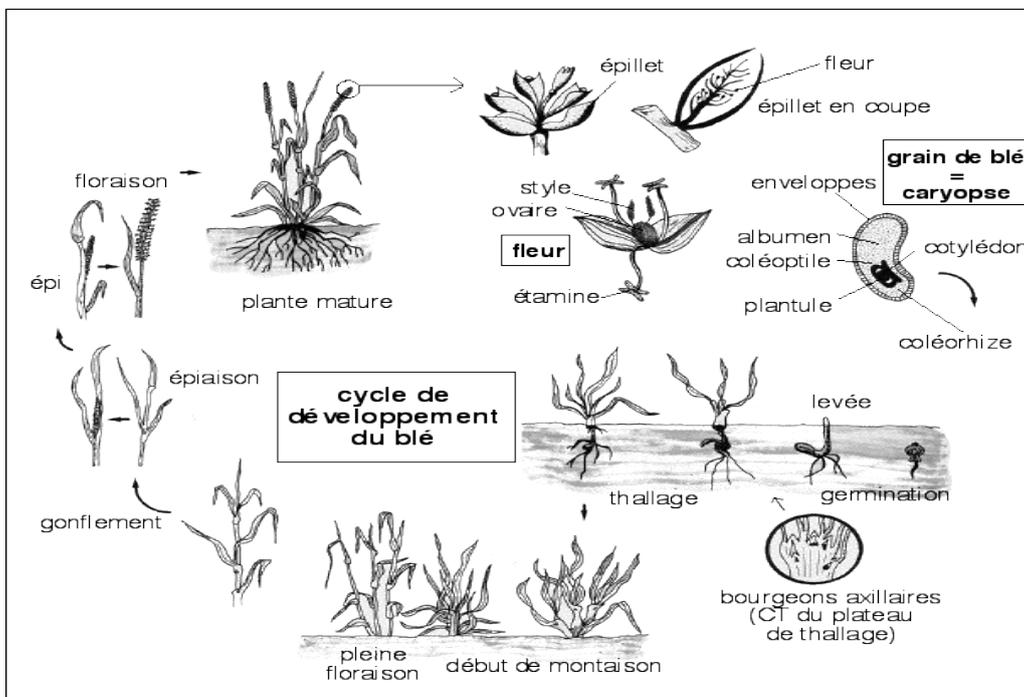
Selon Soltner, (2005) la montaison débute à la fin du tallage, elle est caractérisée par l'allongement des entre nœuds et la différenciation des pièces florales. L'épiaison est la sortie de l'épi de la gaine de la dernière feuille, on note l'épiaison quand l'épillet terminal apparaît au-dessus de la gaine de la dernière feuille (Gate et Giban, 2003).

La floraison est manquée par la sortie des étamines lors des épillets et se termine dès que toutes les étamines sont extériorisées (Gate et Giban, 2003).

Le blé s'amorce à changer de couleur il s'égarer sa couleur verte pour tourner plus jaune /doré/bronze (Soltner, 2005).

**c. La phase de maturation**

La phase de maturation succède au stade pâteux (45% d'humidité), elle correspond à la phase au cours de laquelle le grain va égarer progressivement son humidité en passant par différents stades, elle débute à la fin du palier hydrique marqué par la stabilité de la teneur en eau des grains pendant 10 à 15 jours a cette période, le grain ne perdra que l'excès d'eau qu'il contient et passera progressivement au stade rayable à l'ongle (20% d'humidité) puis cassant sous la dent (15 à 16% d'humidité) (Gate et Giban, 2003) (Figure 2).



**Figure 2:** Le cycle de développement du blé. [5]

## 1. Définition du stress

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par ailleurs, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype) (**Hopkins, 2003**).

Le stress est l'ensemble des conditions qui provoquent des changements des processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures et inhibition de la croissance ou de développement (**Menacer, 2007**).

## 2. Types de stress

On peut distinguer deux types du stress dans la nature :

- **Biotique**

Imposé par d'autres organismes vivants (insectes, herbivores...).

- **Abiotique**

Le stress abiotique est lié à l'action néfaste du non-vivant sur le vivant, en particulier l'action exercée par les facteurs environnementaux susceptibles de déclencher des modifications dommageables, provoquant ainsi chez une espèce végétale une augmentation du taux de mortalité de la population (**Amrouche et Mesbah, 2017**). En revanche, la réponse du végétal dépend, entre autres : des paramètres environnementaux (tels que le type de la contrainte : sécheresse, salinité, température extrême) et génétiques (espèce et/ou génotype) (**Hopkins, 2003**).

### 2.1. Le stress salin

Selon **Hopkins, 2003** le stress salin est un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ .

Le stress salin est l'une des contraintes abiotiques les plus importantes et les plus limitant en termes de productivité agricole à l'échelle planétaire, en particulier dans les climats aride et semi-aride (**Djerah et Oudjehih, 2015**).

La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées (**Levigneron et al., 1995**).

## 2.2. Stress hydrique

Le déficit hydrique est une contrainte permanente de la production agricole dans de nombreux pays au climat de type méditerranéen. Elle est à l'origine des pertes de production agricole dans de nombreuses régions. Les risques du manque d'eau sont et deviendront de plus en plus fréquents et persistants, à l'avenir, par suite des changements climatiques causés par l'effet de serre (**Witcombe et al., 2009**).

**Passioura, 2004** définit le déficit hydrique comme étant les circonstances dans lesquelles les plantes accusent une réduction de croissance et de production suite à une alimentation hydrique insuffisante. Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire.

## 2.3. Stress ionique

Défini par l'accumulation des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  en excès dans la plante qui perturbe l'homéostasie des ions cytosoliques de l'organisme (**Munns et Tester, 2008**).

## 2.4. Stress nutritionnel

Une concentration trop élevée en sel dans le milieu peut entraîner des modifications de la nutrition minérale, notamment au niveau des transporteurs d'ions cellulaires. Le sodium est en compétition avec le potassium et le calcium, et le chlorure est en compétition avec le nitrate, le phosphore et le sulfate (**Belaadi, 2014**).

## 3. Effets du stress

### 3.1 Effets du stress hydrique

#### 3.1.1. Sur la germination

L'effet du stress hydrique va dépendre de son intensité, de sa durée, du stade de développement de la plante ainsi que du génotype et de son interaction avec l'environnement (**Yokota et al., 2006**).

Ce phénomène est l'un des facteurs environnementaux qui affecte le plus la germination des espèces cultivées et réduit leur survie au cours des stades précoces de développement. En absence d'humidité suffisante, la graine même si elle est correctement placée dans le sol, n'évolue pas, retardant ainsi la levée. En cas de persistance de la sécheresse, la situation peut se traduire par une absence de germination (**Feliachi et al., 2001**).

Au cours de cette phase, c'est le métabolisme des carbohydrates qui se trouve fortement affecté, à travers la perturbation du fonctionnement enzymatique impliqué dans ce processus. De nombreux gènes contrôlant le métabolisme des sucres simples sont régulés par les variations de l'hydratation cellulaire. L'hydrolyse de l'amidon et la libération des sucres réducteurs énergétiques constituent une étape incontournable dans le déroulement de la germination (**Ingram et al., 1996**).

De plus, la disponibilité des carbohydrates pendant cette phase assure un rôle de protection contre le déficit hydrique (**Beck et Ziegler, 1989**).

### *3.1.2. Sur la morphologie de la plante*

Le stress hydrique cause des modifications au niveau de la morphologie des végétaux en limitant sérieusement la croissance de la plante (**Moulineau, 1993**), un déficit hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (**Debaeke et al., 1996**) ; ce qui se traduit par une réduction de la biomasse finale (**Villegas et al., 2001**).

Une diminution importante de la longueur et du nombre de racines pourrait être due à un arrêt de la division et de l'élongation cellulaire au niveau de la partie racinaire (**Radhouane, 2007**), une autre conséquence importante de la sensibilité à l'élongation des cellules lors d'un stress hydrique est la réduction marquée de la surface foliaire. Cette dernière diminue la croissance de la plante surtout durant les premiers stades de développement. L'influence du déficit hydrique est souvent rapportée en termes de hauteur des plantes, du nombre de talles, de l'indice de surface foliaire, de la matière sèche des parties aériennes et racinaires ainsi que du rendement en grains (**Brahimi, 2017**).

### *3.1.3. Sur la physiologie de la plante*

Parmi les modifications physiologiques liées au stress hydrique, on observe un changement dans la régulation stomatique qui influe sur la photosynthèse et la respiration. En effet, un tel stress provoque la fermeture des stomates, ralentissant ainsi la photosynthèse en même temps que la respiration (**Maury et al., 2011**). De plus, l'activité physiologique de la feuille est fortement affectée et liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire. Cette réduction est supposée dépendre d'une fermeture des stomates, avec pour conséquence une diminution de la conductance à la diffusion du CO<sub>2</sub> et d'une limitation biochimique du chloroplaste pour la fixation du CO<sub>2</sub> (**Brahimi, 2017**).

Selon **Benkaddour (2014)** cette contrainte peut conduire à un stress oxydatif par production des espèces réactives d'oxygènes (ROS) particulièrement le radical superoxyde et le peroxyde d'hydrogène.

Les dommages provoqués par un stress hydrique vont aussi avoir des conséquences sérieuses sur le plan structurel et sur le plan métabolique en affectant l'intégrité des membranes et des protéines, ce qui entraîne des dysfonctionnements métaboliques. Les stress qui affectent la bicouche lipidique pourraient provoquer une perte de sélectivité des biomembranes. Ces dernières ont également tendance à devenir très poreuses lorsqu'elles sont desséchées (**Hopkins, 2003**).

### **3.2.Effets du stress salin**

#### *3.2.1. Sur la germination*

La germination et les premiers stades de croissance sont cruciaux pour l'établissement des espèces se développant dans des environnements salins. Ce stade germinatif est souvent limité par la salinité du sol et se montre plus sensible par rapport aux autres stades de développements. Une salinité élevée entraîne une inhibition de la germination des semences par osmose ou par toxicité spécifique (**Ouhaddach et al., 2016**).

Les effets osmotiques se traduisent par l'inaptitude des graines à absorber des quantités suffisantes en eau pour les ramener à leur seuil critique d'hydratation. Ce qui se trouve être nécessaire au déclenchement du processus de germination (**Maas et Poss, 1989**).

Les effets toxiques sont quant à eux liés à une forte accumulation des ions (notamment le  $\text{Na}^+$ ) provoquant une perturbation des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination. Ceci va empêcher la levée de dormance des embryons et conduire à une diminution de la capacité germinative (**Rejili et al., 2006**).

**Rahmoune et al., (2001)** ont montré que le sel a un effet dépressif sur le taux de germination des grains, cependant cet effet varie en fonction de l'intensité du stress et de la variété en question, les variétés tunisiennes ont montré une sensibilité extrême au sel ; en revanche, les variétés marocaines se sont montrées les plus tolérantes.

#### *3.2.2. Sur la morphologie de la plante*

Des seuils élevés de salinité vont affecter toutes les parties de la plante, mais il semblerait que cela ait une incidence plus marquée sur la croissance foliaire comparativement à la croissance racinaire. Et ceux chez plusieurs espèces de plantes cultivées telles que l'orge et le blé (**Xu, 1990 ; Gouia et al., 1994**).

La salinité diminue la croissance des plantes en provoquant un déséquilibre hydrique des tissus, ce phénomène est associé à une baisse de turgescence, suite à une diminution du gradient de potentiel hydrique entre la plante et le milieu (**Ouerghi et al., 1998**).

L'entrée du sel dans la plante provoque aussi un déséquilibre ionique qui se traduit (suivant l'espèce) par des carences ou des excès en certains éléments. Ce dernier provoque une altération de la nutrition minérale (**Levigneron et al., 1995**).

Ces perturbations sont une cause possible des réductions de la croissance des parties racinaires et foliaires de la plante (**Haouala et al., 2007**).

### *3.2.3. Sur la physiologie de la plante*

L'accumulation de chlorure et de sodium est l'une des principales menaces physiologiques qui pèse sur les écosystèmes. Les sels de la solution du sol peuvent se concentrer à hauteur de 2 à 5 fois de leur valeur initiale. Ceci cause une augmentation de pression osmotique de la solution du sol et rend encore plus difficile l'absorption de l'eau pour les racines. C'est ce qu'on appelle une sécheresse physiologique (**Maillard, 2001**).

Lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules, ce qui provoque un déficit hydrique et une perte de la turgescence (**Redondo-Gomez et al., 2006**).

Lorsque la concentration en sel excède le niveau de tolérance de la plante, l'activité physiologique des feuilles est affectée en réduisant la photosynthèse, qui est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire responsable de la fermeture des stomates. La diffusion du CO<sub>2</sub> à l'intérieur des stomates devient alors limitée et sa fixation au niveau des chloroplastes diminue ; les exposant ainsi à une énergie d'excitation excessive perturbant le transport des électrons. Par conséquent la glycolyse, le cycle de Krebs, l'assimilation de l'azote et de nombreuses voies métaboliques sont perturbées (**Price et Hendry, 1991 ; Allen, 1995 ; Alem et al., 2002 ; Jajoo, 2013**).

Dans des conditions salines, la membrane plasmique est le principal site de l'interaction du sel avec la plante ce qui induit à une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de celle-ci affectant ainsi sa stabilité (**Alem et al., 2005**).

La salinité va également entraîner la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) (**Jajoo, 2013**). L'excès de ROS déclenche des réactions phytotoxiques telles que la peroxydation des lipides, la dégradation des protéines et la mutation de l'ADN (**Sreenivasulu et al., 2000**).

#### 4. Mécanismes d'adaptation aux stress salin et hydrique

Plusieurs études ont montré que, lors d'un stress abiotique, les plantes adoptent des stratégies d'adaptation qui font intervenir une large combinaison de facteurs morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires (**Monneveux et Nemmar, 1986**).

Plusieurs voies de signalisation sont activées en réponse aux stress environnementaux, la réponse au stress (salin ou hydrique) est initiée quand une plante perçoit un déficit hydrique au niveau cellulaire. La reconnaissance du signal va conduire à l'activation de voies de transduction du signal qui seront à l'origine de modification de l'expression des gènes du métabolisme et de l'ajustement de la quantité d'eau au niveau cellulaire (**Ben Yahmed, 2013**).

##### 4.1. Régulation stomatique et capacité photosynthétique

La réduction de la perte en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress abiotique (**Djekoun et Planchon, 1992**). En condition stressante, les racines synthétisent l'ABA qui est véhiculée jusqu'aux feuilles où il déclenche alors la fermeture de stomates (**Benkhellef, 2016**). Cette dernière, va provoquer une augmentation de la température foliaire et une réduction de l'assimilation du CO<sub>2</sub> d'où une réduction de l'activité photosynthétique (**Anjum et al., 2011**).

L'augmentation du nombre de stomates par unité de surface pourrait être un des facteurs de résistance au stress abiotique chez les céréales (**Slama et al., 2005**). L'accroissement de la densité stomatique peut augmenter l'assimilation nette du CO<sub>2</sub> et diminuer la perte en eau (**Djekoun et Ykhlef, 1996**).

**Erchidi et al., (2000)** ont constaté que les variétés ayant une conductance et une densité stomatique élevée sont plus résistantes au stress abiotique en donnant un rendement en grains plus satisfaisant.

##### 4.2. Maintien de la balance hydrique et accumulation des osmolytes

Le stress salin et hydrique présente des stratégies d'adaptation communes. D'une part, il existe des stratégies qui font appel à des modifications plutôt d'ordre physique : réduction de l'hydratation cellulaire, réduction du volume cellulaire et augmentation de la conductivité hydraulique. D'autre part, il existe des stratégies plutôt d'ordre chimique et en particulier l'ajustement osmotique (**Yeo, 1983**).

On parle d'ajustement osmotique quand la concentration en solutés à l'intérieur de la cellule augmente pour maintenir une pression osmotique cellulaire élevée. La cellule accumule alors activement des molécules comme réponse à la chute du potentiel osmotique ; se traduisant par une plus grande capacité d'attraction et de rétention des molécules d'eau (Yeo, 1983 ; Chaumeil, 2006). Il s'agit de molécules hautement solubles, de faible poids moléculaire, non toxique, sans charge et tendant à être neutres au pH physiologique (Farooq *et al.*, 2009). Ces osmolytes s'accumulent majoritairement dans le cytoplasme et peuvent être aussi bien d'origine organique telle que les sucres, les acides organiques et les acides aminés (comme la proline et la glycine bêtaïne), que d'origine inorganique comme les ions, en particulier les ions de potassium.

#### 4.2.1. Les sucres solubles

L'augmentation de la concentration des sucres (glucose, saccharose et fructose) améliore la tolérance à plusieurs stress abiotiques, tels que la sécheresse et la salinité (Delatorre *et al.*, 2019), ces osmolytes seraient impliquées dans les mécanismes d'ajustement osmotique (Dubos, 2001). Ils permettent également la stabilité des membranes, la protection des protéines, la protection des processus de synthèse des enzymes et la production d'énergie (Darbyshire, 1974 ; Chaib *et al.*, 2015).

Ce phénomène d'osmorégulation permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques comme la photosynthèse ou encore la croissance et peut intervenir à tous les stades de développement (Ahmad, 2019).

#### 4.2.2. La proline

La proline ou acide pyrrolidine-2-carboxylique est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la constitution des protéines (El Jaafari, 1993). Il s'agit aussi, très certainement, de l'un des osmolytes le plus répandu (Bensalem *et al.*, 2005). La synthèse de cet acide aminé à partir du glutamate est catalysée par une enzyme :  $\Delta$ 1-Pyrroline-5-carboxylate synthétase (P5C synthétase) (Neffar, 2013).

De nombreux rapports ont montré le rôle bénéfique de la proline en réponse à plusieurs stress environnementaux, en particulier les stress dus au sel et à l'eau (Freitas *et al.*, 2019).

La proline et les sucres solubles peuvent être considérés comme des marqueurs biochimiques du degré de tolérance aux stress abiotiques et par conséquent ils peuvent être utilisés pour la sélection précoce de variétés tolérantes (Belfakih *et al.*, 2013).

## 5. Mécanismes d'adaptation au stress ionique

Afin de pallier la toxicité cellulaire due à la présence de sels dans le cytoplasme des cellules, les plantes (se développant dans un environnement hyper-salin) vont avoir recours à l'ajustement de l'osmolarité intracellulaire. Et ceux dans le but de limiter la perte de turgescence causée par l'abaissement du potentiel hydrique ( $\Psi_H$ ) de la solution du sol. Pour contrebalancer les potentiels hydriques bas du cytosol, les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  présents dans la rhizosphère vont s'accumuler dans la vacuole, limitant ainsi leur toxicité cytoplasmique. Parmi les autres stratégies utilisées (autres que la compartimentation des ions toxiques au sein de la vacuole) on retrouve: l'exclusion hors de la cellule et la sélectivité ionique (**Boumaaza, 2011**).

### 5.1. L'exclusion des sels

L'une des stratégies permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique (**Hanana et al., 2011**). Chez le blé, l'orge et le maïs, la tolérance à la salinité est associée à l'exclusion de l'ion  $\text{Na}^+$  (**Benderradji, 2013**).

### 5.2. La compartimentation vacuolaire ou l'inclusion

La compartimentation vacuolaire ou autrement dit l'inclusion consiste à expulser les ions  $\text{Na}^+$  en excès du cytoplasme vers la vacuole afin d'éviter leur effet toxique et leur action inhibitrice à l'encontre des processus enzymatiques. D'autre part, l'augmentation concomitante de la concentration de sodium dans la vacuole va engendrer une forte pression osmotique qui va favoriser l'absorption d'eau et donc améliorer la turgescence des cellules (**Hanana et al., 2011**).

Cette stratégie peut également s'opérer à l'échelle de la plante entière, au niveau des organes les plus vieux ou les moins sensibles (**Munns, 1993**).

### 5.3. La sélectivité:

Il y a sélectivité chez les plantes dès lors que le contenu minéral des plantes varie largement d'une espèce à une autre. Les plantes halotolérantes ont plus de  $\text{Ca}^{++}$  dans les parois racinaires que les plantes sensibles au sel, (**Munns et al., 2006**).

# **Chapitre II**

## **Matériel et méthodes**

### 1. Matériel végétal

Cette étude a été réalisée sur deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) **Bousselam** et **Oued El Bared**. Elles ont été gracieusement fournies par la Coopérative des Céréales et Légumes Secs (CCLS) (station bordj-bou-arreridj). Leurs principales caractéristiques sont montrées au (**Annexe A**).

### 2. Mise en place des essais

Les expérimentations ont été réalisées au niveau du laboratoire de botanique N° (1-08), Université Mouhamed El Bachir El Ibrahimi bordj bou arreridj.

Notre étude fut scindée en deux essais : le premier essai consiste à analyser l'effet des contraintes hydriques et salines sur la germination, et le second consiste à analyser l'effet de ces deux contraintes sur la réponse des plantes.

Le stress salin a été appliqué en ayant recours à trois traitements de Na Cl dont les concentrations sont : 100 et 200 et 300mM. Tandis que le polyéthylène glycol (PEG-6000) voir (**Annexe B**), a été utilisé afin de simuler un stress hydrique avec deux concentrations 10 et 20% (**Benderradji et al., 2016**).

### 3. Effet des stress salin et hydrique sur la germination (Essai 01)

#### 3.1. Conditions de germination

Les graines des variétés de blé dur ont été stérilisées à l'aide d'une solution d'hypochlorite de sodium à 5% pendant 15 minutes puis rincées cinq fois à l'eau distillée. Un premier lot de graines a été mis à germer à une température ambiante de 25°C sur du papier absorbant dans des boîtes de Pétri : à raison de 15 graines par boîte nous avons réalisé trois répétitions, chacune d'entre elles contient 30 graines (2 boîtes par répétition) et cela pour les deux génotypes (B et O), ces derniers ont été traités par le NaCl (0, 100, 200 et 300 mM) et le PEG-6000 (0, 10 et 20%) où les doses (0) sont considérées comme témoins, pour une durée de sept jours, 3 ml de chaque solution ont été ajouté chaque 48h. dans le cas des témoins nous avons utilisé l'eau distillée (**Figure 5**).

Le polyéthylène glycol (PEG) ayant une masse molaire de 6000 a été choisi afin de mimer l'effet d'un stress hydrique, du fait qu'il constitue un agent relativement stable, inerte, non ionique mais bien soluble dans l'eau et non toxique, même à de fortes concentrations (**Jaoudi et al., 2010**). De plus, il agit comme un agent osmotique

abaissant le potentiel de l'eau d'une manière relativement contrôlée, semblable à un séchage du sol (Oukarroum, 2007).

Le chlorure de sodium (NaCl) est un sel inorganique binaire du sodium de métal alcalin et du chlore halogéné. Il s'agit d'un osmoticum bien soluble dans l'eau et qui est souvent utilisé pour imposer une contrainte saline (Chikh M'hamed *et al.*, 2008 ; Farsiani et Ghobadi, 2009 ; Jaoudi *et al.*, 2010).

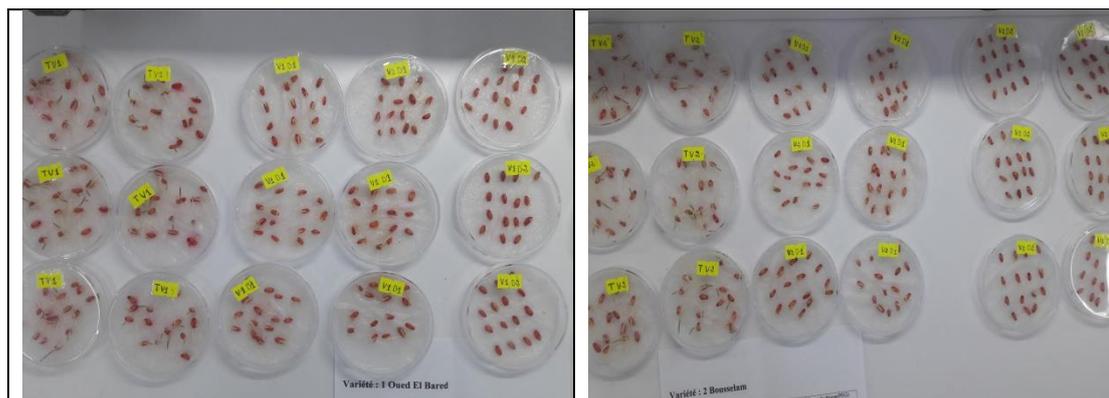


Figure 3: Dispositif utilisé pour la germination.

### 3.2. Paramètres étudiés

#### 3.2.1. Taux de germination final ( $G$ , %)

Ce paramètre est utilisé afin d'analyser la capacité germinative, il est exprimé par le rapport entre le nombre de graines germées sur le nombre total de graines incubées (Côme, 1970 ; Amouri et Fyad Lamech 2012).

$$G (\%) = 100(NGG/NTG)$$

Où :

- **G (%)**: représente le pourcentage de germination.
- **NGG**: représente le nombre de graines germées.
- **NTG**: représente le nombre total de graines incubées.

#### 3.2.2. Indice de tolérance ( $IT$ )

Afin de déterminer la tolérance des génotypes, un indice ( $IT$ ) a été déterminé, il est égal au rapport du taux de germination noté sous stress sur celui du témoin. Il a été

considéré que les plantes tolérantes ont un indice de tolérance plus élevé que les plantes sensibles (**Amouri et al., 2015**).

### 3.2.3 Cinétique de germination (CG, %)

Pour mieux appréhender la signification physiologique du comportement germinatif des variétés étudiées, le nombre de graines germées fut compté quotidiennement jusqu'au 7ème jour de l'expérience (**Hajlaoui et al., 2007**).

Il s'agit de calculer la vitesse de germination sous les différentes concentrations d'osmoticums utilisés pour imposer le stress. Elle est exprimée par le nombre de graines germées à 24, 48, 72, 96, 120, 144 et 168 h après le début de l'expérience.

### 3.2.4 Germination moyenne journalière (GMJ, %)

La moyenne journalière de germination a été calculée selon (**Osborne et al., 1993**) en utilisant la formule suivante :

**MDG (%) = Pourcentage de germination final / nombre de jours à la germination finale**

### 3.2.5. Nombre de racines (NBR)

Le nombre de racines émises a été compté. On considère la moyenne de racines pour chaque plantule (**Mefiti et al., 2008**).

## 4. Effet du stress salin et hydrique sur les caractères physiologiques et biochimiques (Essai 02).

### 4.1. Germination et mise en culture

Un deuxième lot de graines a ensuite été mis à germer dans des boîtes de Pétri à l'obscurité à une température ambiante de 25 °C. Suite à l'émergence des racines, les graines germées ont été repiquées dans des petits pots en plastique (**Figure 6**).



**Figure 4 :** Dispositif utilisé pour l'essai en pots.

#### **4.2. Application des stress**

Après 21 jours de culture, le stress salin a été induit par l'addition de différentes doses de chlorure de sodium à l'eau d'arrosage (un stress modéré de 100 mM et un stress sévère de 200 et 300 mM). Tandis que le stress hydrique a été induit par l'addition de différentes doses de polyéthylène glycol-6000 à l'eau d'arrosage (un stress modéré de 10% et un stress sévère de 20%) pendant sept jours.

#### **4.3. Paramètres physiologiques et biochimiques étudiés**

Le comportement des deux variétés de blé dur étudiées vis-à-vis du stress salin (NaCl) et du stress hydrique (PEG-6000) a été investigué en se basant sur plusieurs paramètres physiologiques et biochimiques. Les mesures sont effectuées sur les plantes au même stade de développement sur la troisième feuille après l'obtention de la quatrième feuille.

##### *4.3.1. Teneur relative en eau (TRE %)*

La teneur relative en eau permet de connaître le niveau de saturation en eau ou de turgescence de la plante. Elle a été déterminée selon la méthode décrite par **Barrs (1968)**. Les feuilles sont coupées à la base du limbe, pesées immédiatement pour obtenir le poids frais (PF), puis aussitôt mises dans des tubes à essai remplis d'eau distillée

fermer afin de maintenir une humidité relative saturante et placés à l'obscurité dans un endroit frais. Après 24 h les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le poids de pleine turgescence (PT). Les échantillons sont ensuite mis à l'étuve à 80 °C pendant 48 h et pesés pour avoir le poids sec (PS). La teneur relative en eau est ensuite calculée d'après la formule de (Clarcke et McCraig (1982), comme suit :

$$\text{TRE (\%)} = [(\text{PF}-\text{PS}) / (\text{PT}-\text{PS})] \times 100$$

Où :

- **PF** : Poids Frais.
- **PT** : Poids de Turgescence.
- **PS** : Poids Sec.



**Figure 5:** Matériel utilisé pour déterminer la teneur en eau.

### 4.3.2. Dosage de la proline ( $\mu\text{g}/100 \text{ mg MF}$ )

Parmi les méthodes de dosage de proline nous avons : la Méthode de **Troll et Lindsley (1955)** simplifiée est mise au point par **Dreir et Gorrington** cité par **Monneveux et Nemmar (1986)**.

#### A. Extraction

- Peser les échantillons environ 100mg de matière fraîche pris dans le tiers médian de la feuille.
- Les placer dans un tube à essai.
- Allumer le bain marie à 85°C°.
- Ajouter 2 ml de méthanol.

- Mettre les tubes dans bain marie à 85 C° pendant 60 min (les tubes sont ferment bien pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool).

### *B. Préparation des réactifs*

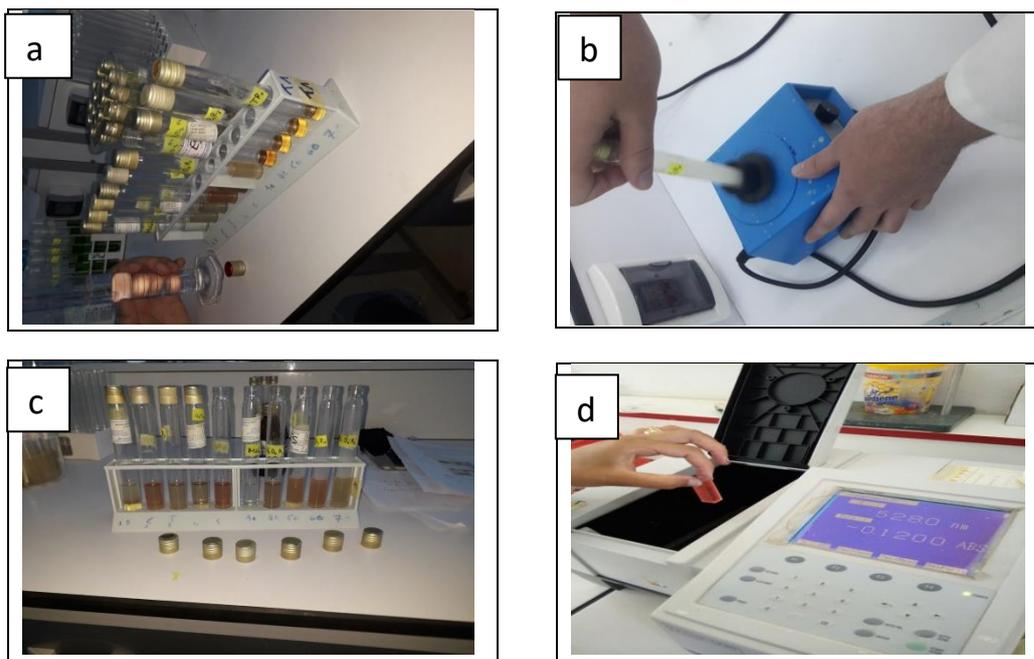
- Pour une **solution A** : Dans un flacon en prépare le mélange suivant :
- 300ml acide acétique (CH<sub>3</sub>COOH).
- 80 ml d'acide orthophosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) densité = 1.7
- 120ml d'eau distillée.

Soit n = nombre de tubes à doser 43 (extrait + étalon).

- ❖ Pour une **solution B** : Mettre dans un bécher :
- ❖ (n + 2) 25 mg ninhydrin (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub>).
- ❖ (n + 4) ml de la solution A.
- ❖ (n + 4) ml d'acide acétique (CH<sub>3</sub>COOH).
- ❖ Agiter.

### *C. Dosage*

- Allumer le bain marie à 100 C°.
- Prélever 1 ml d'extrait.
- Dans chaque tube (extraits + étalons) mettre 2 ml de la solution B.
- Mettre au bain marie pendant 30 min à 100 C°.
- Apparition d'une coloration rose vire au rouge (contient la proline).
- Laisser refroidir.
- Ajouter 5 ml de toluène dans chaque tube, il y a une séparation en deux phases :
  - Une phase aqueuse inférieure.
  - Une phase organique supérieure.
- Agiter les tubes.
- Pipeter la phase organique que l'on met dans des tubes propres contenant une petite spatule de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (anhydre).
- Lecture de la D.O à 528 nm par le spectrophotomètre.



**Figure 6:** Etapes à suivre pour le dosage de la proline. **a** : Addition de 5ml de toluène. **b** : Agitation des tubes. **c** : Séparation de la phase organique. **d** : Lecture sur le spectrophotomètre.

# **Chapitre III**

## **Résultats et discussion**

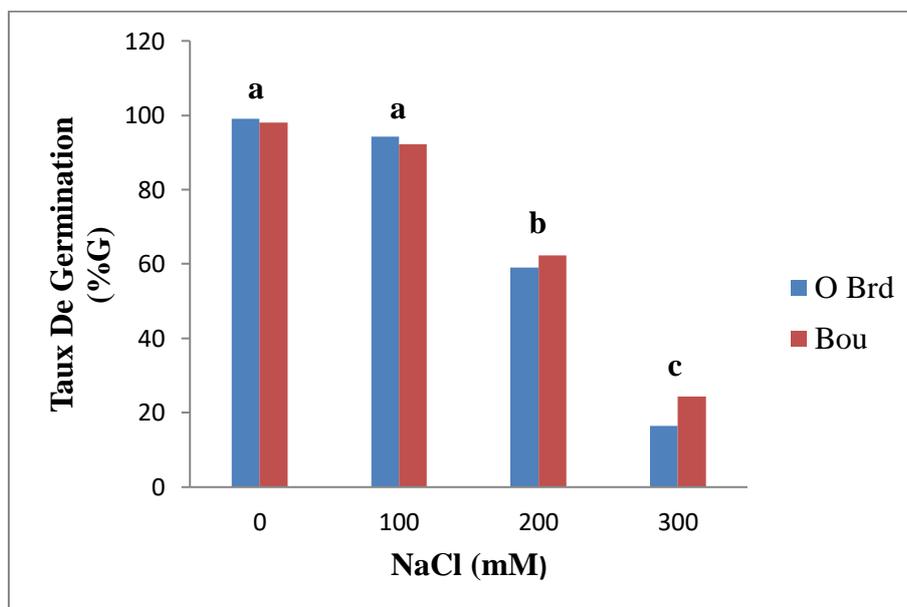
## 1. Effet des stress salin et hydrique sur la germination

### 1.1. Variation des taux de germination (G, %) et indice de tolérance (IT)

L'effet du stress salin et du stress hydrique sur le comportement germinatif peut être considéré comme un bon indicateur du degré de tolérance de la plante à ces deux contraintes environnementales.

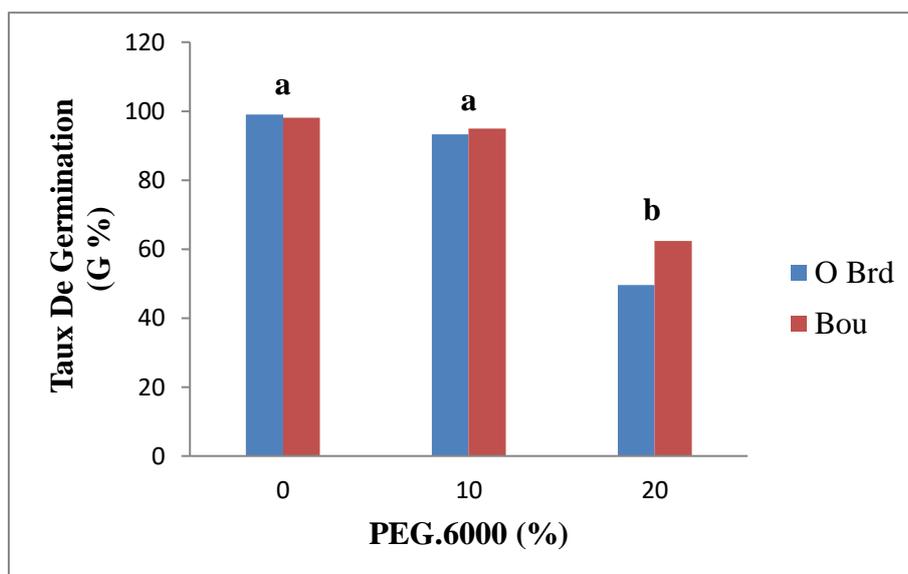
Bien qu'il ne soit pas entièrement reproduit, comment les plantes se comportent dans des conditions de stress, le taux de germination nous renseigne plus ou moins précisément sur leur capacité à résister au stress, les pourcentages de germination obtenus sont représentés par les figures 07 et 08.

Les résultats ont montré que les pourcentages de germination des deux cultivars de blé dur étudiés montraient une variabilité de la germination, en fonction du type de stress appliqué et du cultivar lui-même.



**Figure 07** : Evolution de la capacité de germination sous différentes conditions de stress.

Globalement, en absence de stress toutes les semences testées ont atteint un taux de germination de 99% dans les variétés Oued El Bared et Bousselam. Sous stress salin, pour une concentration de 100 mM de NaCl, le taux de germination reste encore assez élevé de l'ordre de 94,2% pour la variété Oued El Bared et de l'ordre de 92,2% pour la variété Bousselam. Pour la concentration de 200 mM, la capacité germinative de Oued El Bared a diminué à 59%, pour celle de Bousselam elle atteignant les 62,23%. Pour la concentration de 300mM considérée comme sévère, les valeurs enregistrées ont chuté significativement, avec respectivement 16,4% et 24,43% pour Oued El Bared et Bousselam.



**Figure 08 :** Evolution de la capacité de germination sous différentes conditions de stress hydrique

Suite à une exposition à un stress modéré en présence de 10% de PEG-6000, les valeurs observées varient entre 93.33 % pour la variété Oued El Bared et 95 % pour la variété Boussem. Cette baisse est d'ailleurs plus distincte pour un traitement de 20% de PEG-6000, où l'on enregistre un taux minimal de 49.6% chez la variété Oued El Bared comparativement à Boussem avec un taux maximal de 62.3 %.

Les résultats sont vérifiés par ANOVA, ce qui fait ressortir un effet Traitements très hautement significatif ( $< 0.001$ ) pour le NaCl et le PEG6000, et un effet significatif ( $p < 0,05$ ) pour le Génotypes et l'interaction entre le (T\*G) en présence du stress hydrique (Tableau 1 et 2).

**Tableau 1 :** Carrés moyens de l'analyse de variance du pourcentage de germination finale (G, %) des deux variétés de blé dur testées à 0, 100, 200 et 300mM de NaCl

Paramètre	G%	
Source	Df	MS
Traitements(T)	4	7669,7531 ***
Génotypes (G)	2	29,629 ns
Interaction(T×G)	8	28,395 ns

CV : 8.364%

ns : effet non significatif, \*\*\* : effet très hautement significatif  $p < 0,001$

**Tableau 2:** Carrés moyens de l'analyse de variance du pourcentage de germination finale (G, %) des deux variétés de blé dur testées à 0, 10 et 20% de PEG-6000.

Paramètre	G%	
Source	Df	MS
Traitements(T)	3	3229,626***
Génotypes (G)	2	88,888*
Interaction(T×G)	9	88,888*

CV : 5.056%

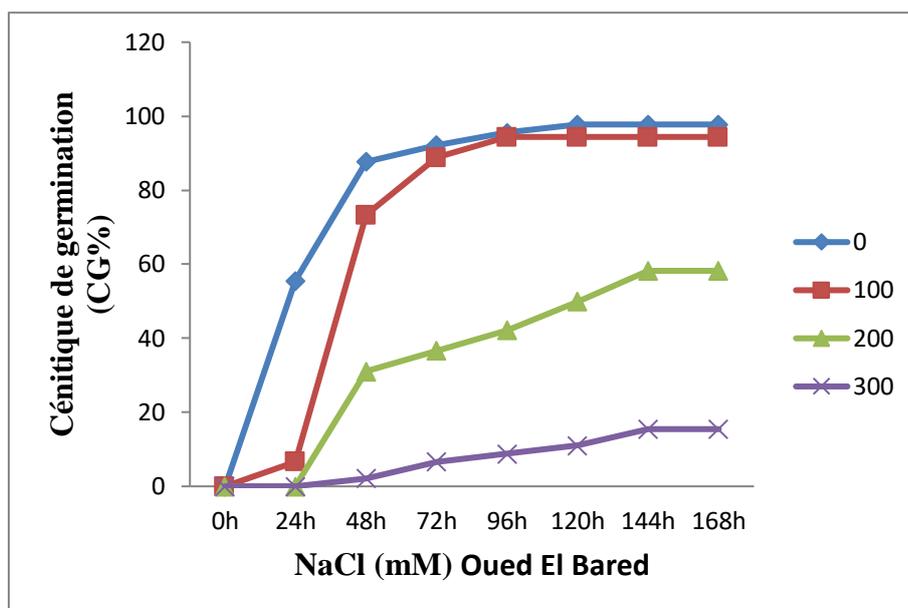
\* : effet significatif  $p < 0,05$ , \*\*\* : effet très hautement significatif  $p < 0,001$ .

### 1.2. Evolution de la cinétique de germination (CG, %)

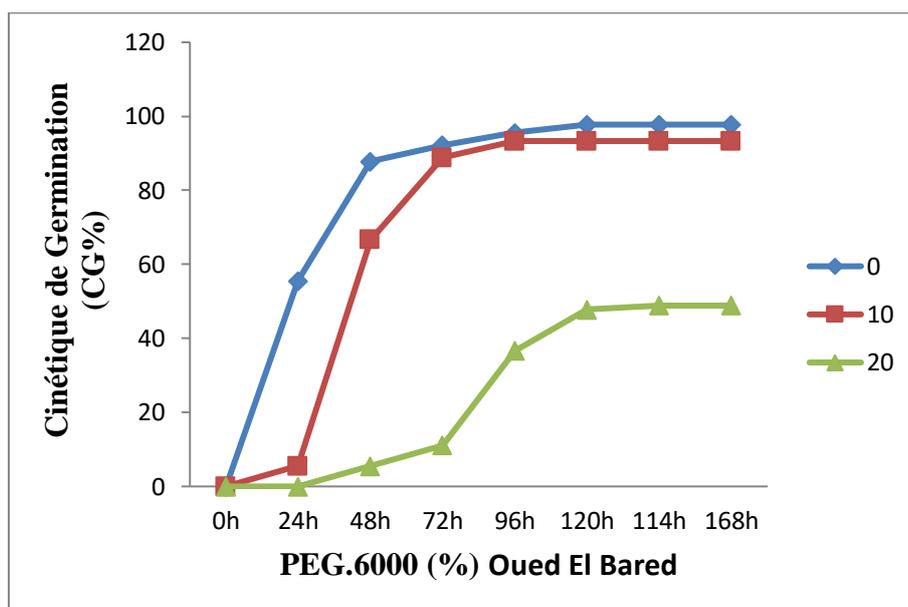
D'après la cinétique de germination, on constate que le stress salin et le stress hydrique entraînent une augmentation du temps nécessaire à la germination des lots testés.

En condition standard, les deux génotypes ont enregistré un taux maximal après seulement 5 jours d'incubation. L'application du stress, a par contre, rallongé le temps de germination. Une durée qui varie en fonction du génotype et des concentrations de NaCl et de PEG-6000, mais en étant toujours plus longues chez la variété Oued El Bared.

Les résultats qui concernent cette variété montrent qu'un stress de 100mM de NaCl ou de 10% de PEG-6000 va faire en sorte que le taux maximal soit atteint au quatrième jour, tandis qu'en présence de fortes doses c'est-à-dire 200mM de NaCl et 20% de PEG-6000 on constate une stagnation des taux au septième jour (Figures 09 et 10).



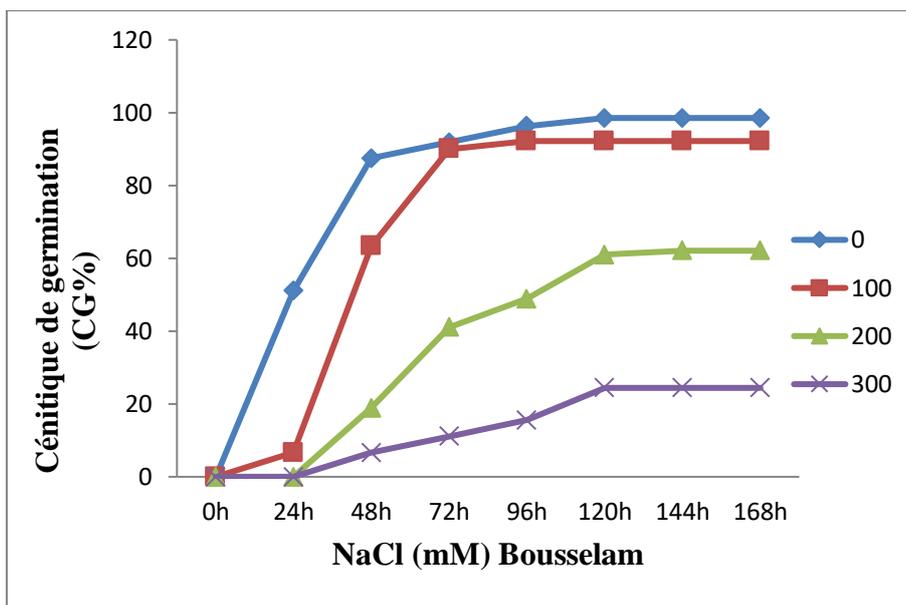
**Figure 09 :** Effets de différentes concentrations de NaCl (0, 100 ,200 et 300mM) sur la cinétique de germination de la variété Oued El Bared.



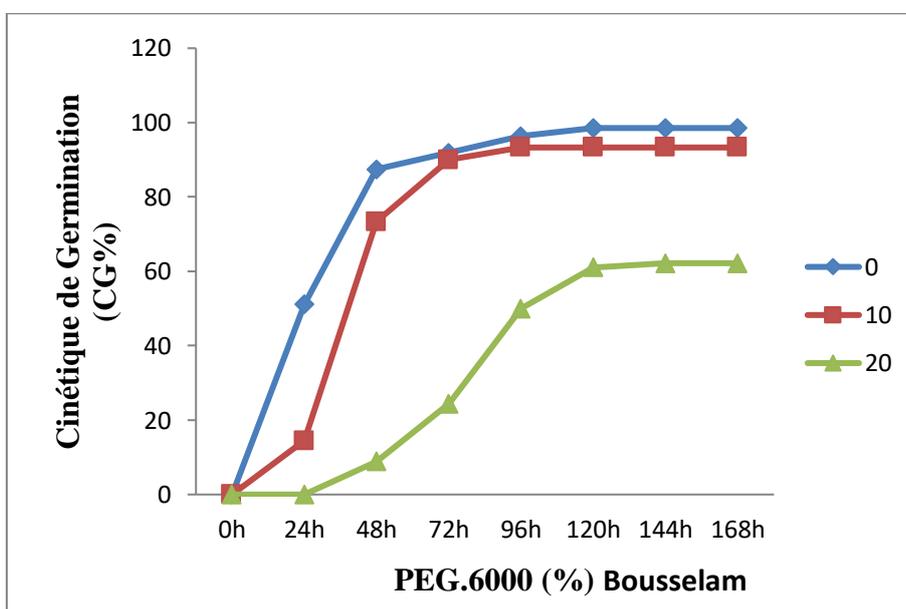
**Figure 10 :** Effets de différentes concentrations de PEG-6000 (0, 10% et 20%) sur la cinétique de germination de la variété Oued El Bared.

Concernant la variété Bousselam, le taux maximal a été observé après quatre jours suivi d'un arrêt en présence de 100 mM de NaCl et de 10% de PEG-6000 atteignant un taux de germination qui dépasse les 95 %, quant aux concentrations restantes, à savoir 200 et 300mM de NaCl et 20% PEG-6000, le maximum a été atteint après 5 jours et avec un taux de germination très faible (24,42%) (Figure 11 et 12). Il s'agit d'un palier qui

représente le pourcentage de germination finale et reflète la capacité de chaque variété à germer avec les deux contraintes environnementales et pour chaque concentration.



**Figure 11 :** Effets de différentes concentrations de NaCl (0, 100 ,200 et 300 mM) sur la cinétique de germination de la variété Bousselam

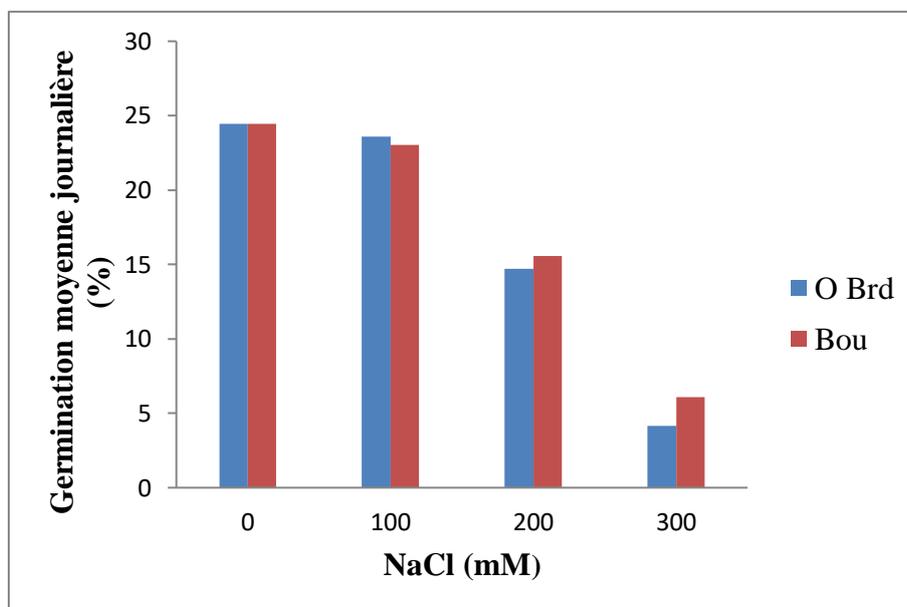


**Figure 12 :** Effets de différentes concentrations de PEG-6000 (0, 10% et 20%) sur la cinétique de germination de la variété Bousselam.

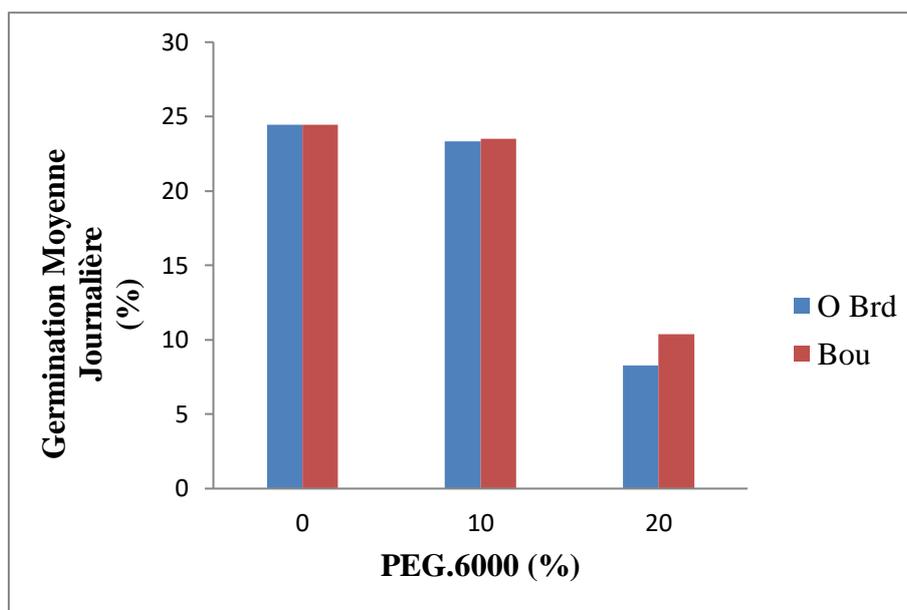
### 1.3. Germination moyenne journalière (GMJ, %)

D'après les figures 13 et 14 on remarque un retard de la germination des graines avec une diminution de la moyenne de germination journalière pour les deux génotypes testés proportionnellement avec l'augmentation de l'intensité du stress. Pour le témoin, on remarque que le taux moyen de germination journalière atteint les 24,44 % chez les deux variétés étudiées.

Pour une dose modéré du stress salin (100mM) et hydrique (10%), une légère diminution est enregistrée avec 23% pour les deux variétés, tandis que pour la dose de 200mM du stress salin, la germination moyenne journalière atteint les 15% chez les deux variétés ; les doses sévères des deux stress (300mM et 20%) montrent une grande diminution avec (4 à 6%) pour le stress salin et (8 et 10%) pour le stress hydrique et cela pour les variété de O Brd et Bou.



**Figure 13 :** Effets de différentes concentrations de NaCl (0, 100,200 et 300 mM) sur la moyenne journalière de germination des variétés de blé dur étudiées.



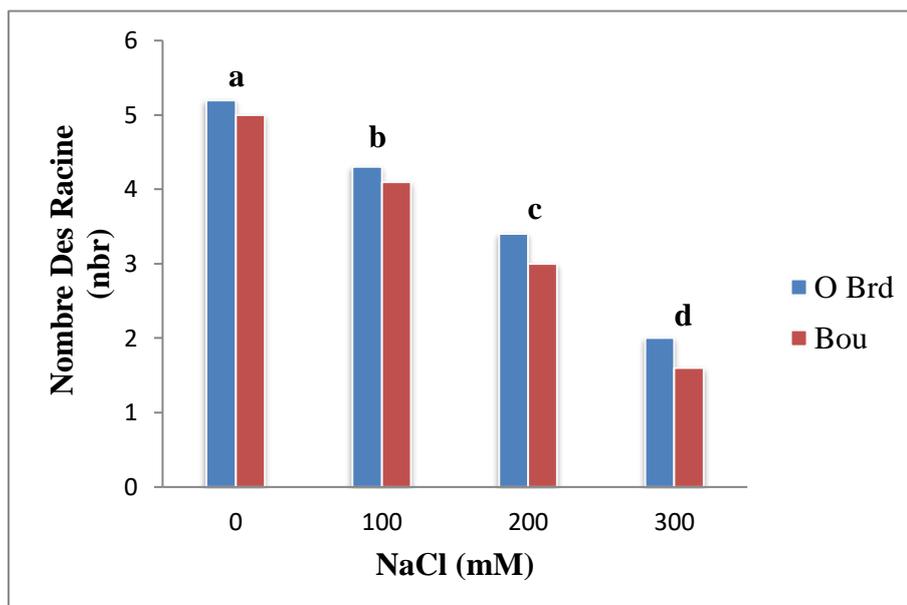
**Figure 14 :** Effets de différentes concentrations de PEG-6000 (0, 10% et 20%) sur la moyenne journalière de germination des variétés de blé dur étudiées.

#### 1.4. Nombre de racines (NBR)

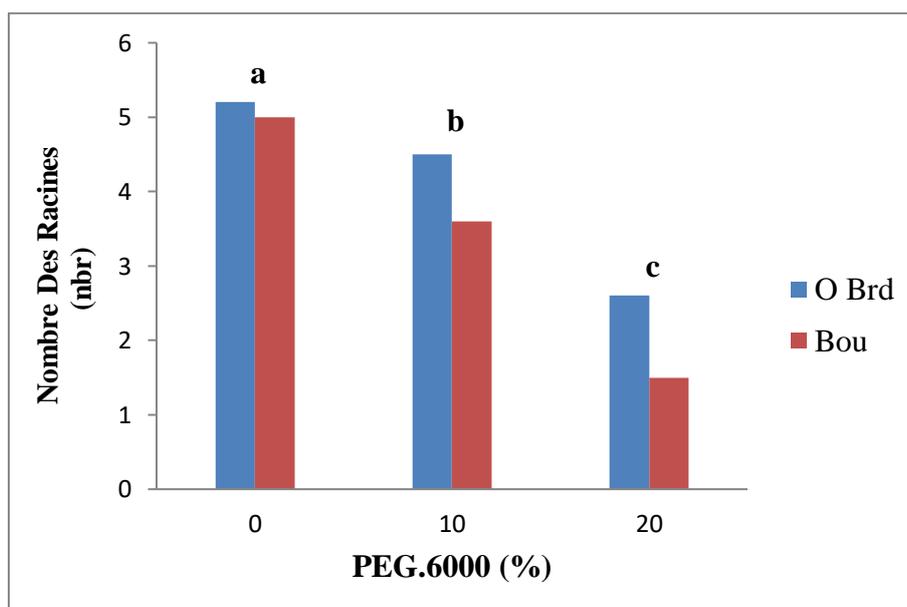
Concernant les résultats présentés dans les Figures 15 et 16, on observe une réduction du nombre de racines chez les plantes stressées par rapport aux témoins chez les génotypes étudiés. En conditions contrôlées, le nombre de racines est plus élevé, avec une moyenne de 5 racines par plantule pour les deux variétés.

Cependant, en conditions stressantes, on observe une diminution de la ramification et du développement du système racinaire. L'application d'un stress salin modéré (100mM) ou sévère (200 et 300mM) entraîne des valeurs oscillant respectivement entre un maximum de 4 racines et un minimum de 2 racines par plantule pour les deux variétés. En présence de 10% de PEG, le nombre de racines est le même pour les deux variétés, avec une moyenne de 4 racines pour Oued El Bared et 3 chez Bousselam.

Il est cependant important de noter que le stress hydrique sévère semble avoir une incidence plus importante que le stress salin à forte concentration. En effet, le stress hydrique sévère entraîne une diminution considérable du nombre de racines, on note 2 racines chez Oued El Bared et une seule racine chez Bousselam.



**Figure 15 :** Nombre de racines sous condition contrôlé (0 mM) et sous différentes conditions de stress salin (NaCl à 100,200 et 300mM) chez les variétés de blé dur étudiées.



**Figure 16 :** Nombre de racines sous condition contrôle (0%) et sous différentes conditions de stress hydrique (PEG-6000 à 10% et 20%) chez les variétés de blé dur étudiées

L'analyse de variance réalisée pour ce paramètre, notamment sous l'effet du PEG-6000 et NaCl, révèle un effet très hautement significatif du Traitement, pour l'interaction entre le traitement et le génotype sous l'effet de PEG6000, l'analyse révèle un effet très hautement significatif (**Tableau 3 et 4**).

**Tableau 3** : Carrés moyens de l'analyse de variance du nombre de racines (NBR) des deux variétés de blé dur testées sous conditions de stress salin (NaCl).

Paramètres		NR
Source	Df	MS
Traitement (T)	4	35,314 ***
Génotype (G)	2	0 <sup>ns</sup>
Interaction (G × T)	8	1,037 <sup>ns</sup>

CV : 21.60%

<sup>ns</sup>: effet non significatif, \*\*\* : effet très hautement significatif p<0,001.

**Tableau 4** : Carrés moyens de l'analyse de variance du nombre de racines (NBR) des deux variétés de blé dur testées sous conditions de stress hydrique (PEG-6000).

Paramètres		NR
Source	DF	MS
Traitement(T)	3	42 ***
Génotype (G)	2	6.656e-31 <sup>ns</sup>
Interaction (G ×T)	6	4,666 ***

CV : 18.71 %

<sup>ns</sup>: effet non significatif, \*\*\* : effet très hautement significatif p<0,001.

## 2. Effet des stress salin et hydrique sur des caractères physiologiques et biochimiques

### 2.1 La teneur relative en eau (TRE, %)

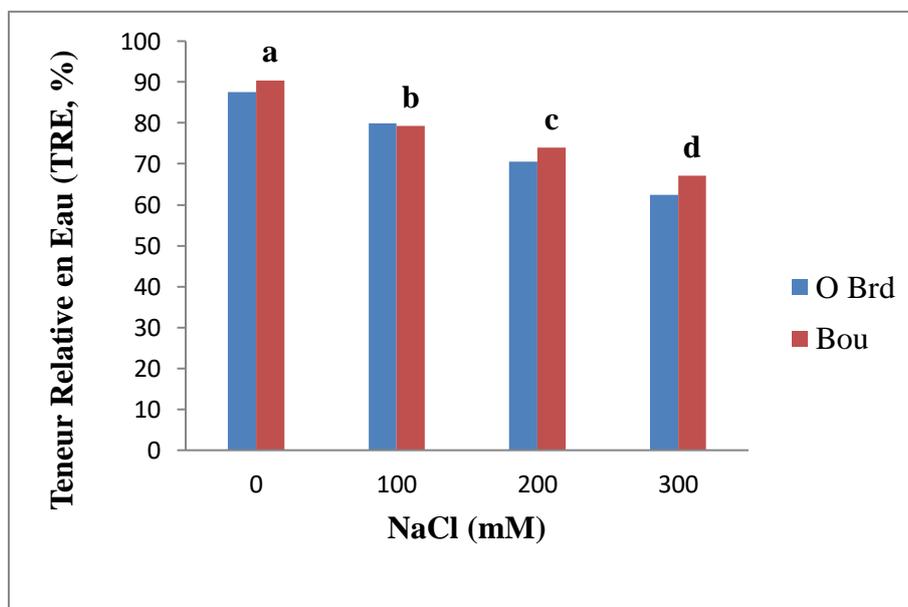
La mesure de la teneur relative en eau considérée comme étant un indicateur utilisé pour évaluer l'état hydrique d'une plante mais aussi pour le criblage des génotypes nous a permis de comparer les variétés stressées aux variétés témoins (Figure 17 et 18).

Les teneurs relatives en eau les plus élevées sont notées chez les témoins avec 87.49% et 90.41% respectivement chez les variétés Oued El Bared et Bousselam.

En revanche, les variétés stressées ; sous l'effet de la salinité, pour un premier niveau de stress avec une concentration de 100 mM de NaCl, la TRE est la même pour les deux variétés avec une valeur minimale de 79% par rapport aux témoins.

Lorsqu'un stress sévère est appliqué avec une concentration de 200 mM de NaCl, les plantes stressées montrent une grande baisse par rapport aux plantes exposées à 100 mM

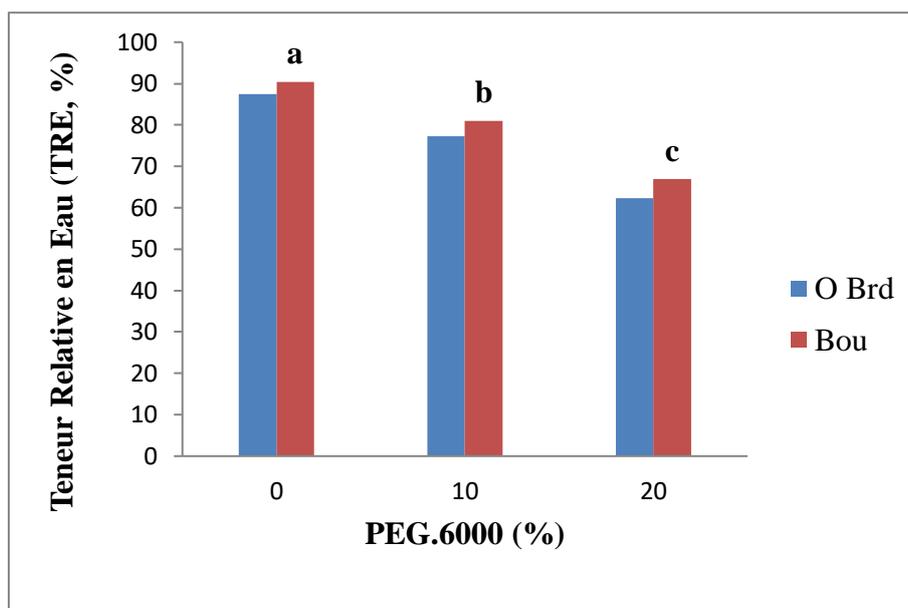
de NaCl. Dans ce cas, la variété Boussemal enregistre une valeur maximale de 73.99% pour la TRE, tandis que la variété Oued El Bared présente une valeur minimale de 70.51%. Pour une concentration très sévère de 300mM de NaCl, Le deux de variété marque une valeur de TRE maximale de 67.15% pour la Boussemal et une valeur minimal de 62.42% Oued El Bared.



**Figure 17 :** Variation de la teneur relative en eau (TRE) sous différentes conditions de stress salin (NaCl à 0, 100,200 et 300 mM) chez les variétés de blé dur étudiées.

Pour une concentration de 10% de PEG-6000, la valeur maximale de la TRE est de 81% pour le génotype Boussemal tandis que la variété Oued El Bared enregistre une valeur minimale de 77,22%.

Pour le deuxième niveau de stress avec une concentration de 20% de PEG-6000, il y a une diminution considérable de la TRE par rapport au premier niveau de stress. Les valeurs maximales et minimales diffèrent entre les variétés : la variété Boussemal présente une TRE maximale de 66.89%, tandis que la variété Oued El Bared montre une TRE minimale de 62.24%.



**Figure 18:** Variation de la teneur relative en eau (TRE) sous différentes conditions de stress hydrique (PEG-6000 à 0, 10% et 20%) chez les deux variétés de blé dur étudiées.

L'analyse de variance réalisée pour ce paramètre, notamment sous l'effet du stress salin, révèle un effet significatif ( $<0.05$ ) du génotype. Pour le traitement; l'analyse révèle un effet très hautement significatif ( $<0.001$ ) (**Tableau 5**).

En ce qui concerne le stress hydrique, révèle un effet hautement significatif ( $<0.01$ ). du génotype. Pour le traitement; l'analyse révèle un effet très hautement significatif ( $<0.001$ ) (**Tableau 6**).

**Tableau 5:** Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur relative en eau (TRE) des deux variétés de blé dur testées au stress salin.

Paramètre	TRE	
Source	Df	MS
Traitement (T)	4	501,615 <sup>***</sup>
Génotype(G)	2	41,404 <sup>*</sup>
Interaction (G × T)	8	7,922 <sup>ns</sup>

CV : 3.12%

<sup>ns</sup>: effet non significatif, <sup>\*</sup> : effet significatif  $p < 0,05$ , <sup>\*\*\*</sup> : effet très hautement significatif  $p < 0,001$ .

**Tableau 6 :** Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur relative en eau (TRE) des deux variétés de blé dur testées au stress hydrique.

Paramètre	TRE	
Source	Df	MS
Traitement (T)	3	711,772 <sup>***</sup>
Génotype(G)	2	62,738 <sup>**</sup>
Interaction (G × T)	6	0,928 <sup>ns</sup>

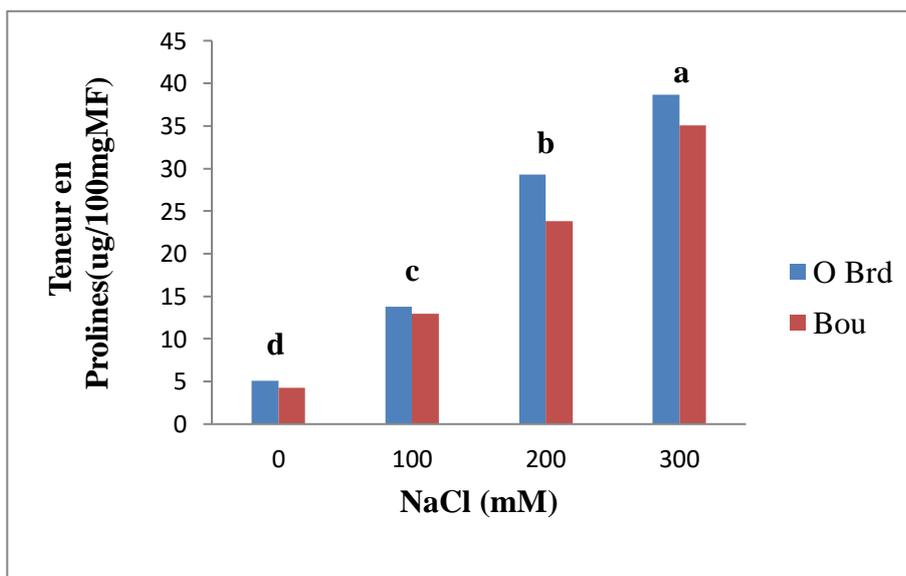
Cv : 2.31%

<sup>ns</sup> : effet non significatif, <sup>\*\*</sup> : effet hautement significatif  $p < 0,01$ , <sup>\*\*\*</sup> : effet très hautement significatif  $p < 0,001$ .

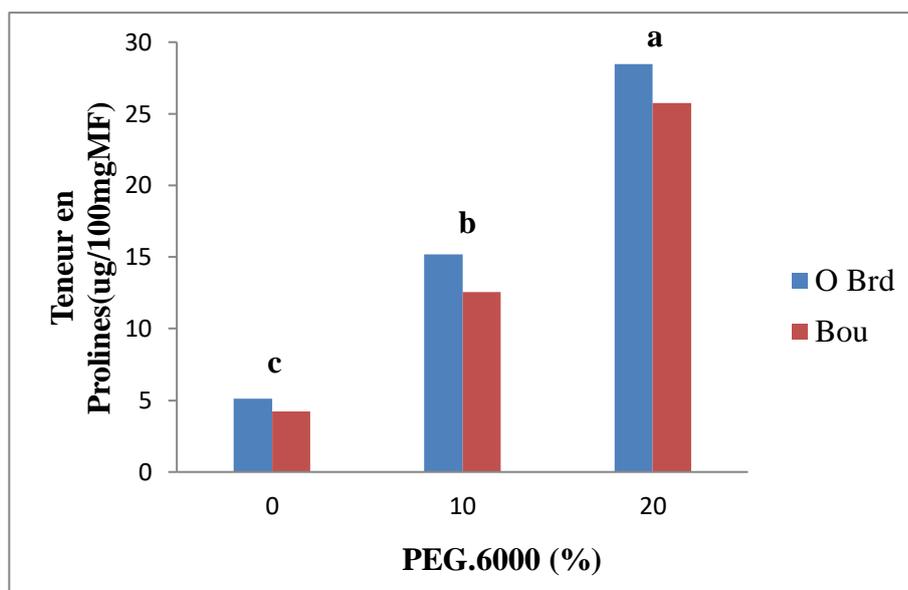
## 2.2. Evolution des teneurs en proline ( $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ )

Les résultats enregistrés dans les Figures (19 et 20), démontrent une augmentation des valeurs sous l'influence des différents types et concentration de stress appliqué. En absence de stress hydrique et salin les deux variétés présentent une teneur qui ne dépasse pas les 5  $\mu\text{g}$  ; en présence de 300mM de NaCl (la concentration la plus élevée) la teneur en proline augmente à 35,07 et 38,7  $\mu\text{g}$  respectivement pour Boussalem et Oued el Bared.

En présence de 20% de PEG 6000 (la concentration la plus élevée), la proline enregistre 25,75 et 28,47 $\mu\text{g}$  respectivement pour Boussalem et Oued el Bared.



**Figure 19 :** Variation de la teneur en prolines sous différentes conditions de stress salin (NaCl à 0, 100,200 et 300 mM) chez les deux variétés de blé dur étudié.



**Figure 20** : Variation de la teneur en prolines sous différentes conditions de stress hydrique (PEG-6000 à 0, 10% et 20%) chez les deux variétés de blé dur étudié.

L'analyse de variance réalisée pour ce paramètre, sous les effets des deux stress, révèle un effet très hautement significatif ( $P < 0.001$ ) du traitement et de génotype.

L'analyse de l'interaction ( $G \times T$ ) sous stress salin révèle un effet très hautement significatif ( $P < 0.001$ ) (**Tableau 7 et 8**).

**Tableau 7** : Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur en proline (Pro) des deux variétés de blé dur testées à 0, 100, 200 et 300mM de NaCl.

Paramètres	Pro	
Source	Df	MS
Traitement (T)	4	743,708***
Génotype (G)	2	24,035***
Interaction (G × T)	8	1,954 <sup>ns</sup>

CV : 3.059%

<sup>ns</sup> : effet non significatif, \*\*\* : effet très hautement significatif  $p < 0.001$ .

**Tableau 8:** Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur en proline (Pro) des deux variétés de blé dur testées à 0, 10 et 20% de PEG-6000

Paramètres		Pro
Source	Df	MS
Traitement (T)	3	1226,72***
Génotype (G)	2	48,820***
Interaction (G × T)	6	21,875***

CV : 5.941%, \*\*\* : effet très hautement significatif  $p < 0,001$ .

### Discussion Générale

A partir de nos résultats on peut constater que les deux variétés étudiées présentent une sensibilité face aux stress salin et hydrique appliqués, en effet à partir de 100mM de NaCl apparait l'effet de la salinité sur le taux de germination ainsi que sur la cinétique de germination, l'allure est changée en augmentant la concentration de sel et peut être inhibé à la dose de 300 mM de NaCl pour les deux génotypes, ces résultats concordent avec ceux de **Hassani A, 2009**. En effet selon (**Prado et al., 2000**), ce ralentissement peut être due au processus de dormance osmotique développé sous ces conditions de stress, ce qui représente ainsi une stratégie d'adaptation face aux contraintes environnementales.

Le taux de germination fait ressortir aussi la variété Bousselem comme variété tolérante au sel par rapport a la variété Oued El Bared moyennement tolérante.

L'application du stress hydrique à différentes doses sur les deux génotypes étudiés montre qu'ils sont sensibles au PEG6000, ce dernier provoque une diminution du taux de germination qui peut se réduire à 50% en présence d'une dose de 20%. On peut constater que les variétés de Bousselem à un pouvoir germinatif plus marqué que les variétés Oued El Bared face au stress hydrique.

La situation hydrique ou saline influencent fortement le nombre des racines chez les deux génotypes. D'après les résultats obtenus on constate que ce nombre diminue en augmentant le degré du stress. Ces résultats concordent avec ceux de **Hassani A, 2009**. Ces résultats dévoilent aussi que le génotype Oued El Bared semble être moins affecté que celui de Bousselem.

Le statut hydrique représenté par l'estimation de la teneur en eau des tissus constitue un paramètre de prédiction du niveau d'alimentation hydrique des plantes (**Hans *et al.*, 1995**).

Dans notre étude, l'application du stress a provoqué une dévaluation de la teneur relative en eau (TRE) des cultivars testés ; l'application du stress salin a montré une nette réduction de la TRE. En effet l'excès de sel provoque une diminution de la teneur relative en eau **Hassani A, 2009**.

**Strogonov, (1964)** affirme que le sel diminue la transpiration des glycophytes, conséquence ou cause de la diminution de la transpiration, ainsi l'absorption hydrique par les racines est également réduite. Les résultats du PEG6000 montrent que le déficit hydrique entraîne une chute de la TRE.

Selon **Albouchi *et al.*, 2000** le manque d'eau chez les plantes stressées induit à une diminution du contenu relatif en eau.

Cependant on note une divergence de comportement à travers les génotypes étudiés où la variété de Oued el Bared marque une diminution plus élevée que celle de Boussalem ce qui représente que cette variété est sensible au stress hydrique par rapport au Oued el Bared.

Les résultats obtenus montrent que cette baisse dans les teneurs en eau est accompagnée avec une augmentation très importante de la teneur en proline sous l'effet du stress (l'augmentation de proline est inversement proportionnelle à la teneur en eau), l'excès de sel provoque chez la plante une accumulation de proline, en effet cette accumulation permet la protection de la membrane cellulaire et participe à l'ajustement osmotique (**Hassani A, 2009**), en effet l'accumulation de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (**osmotiques, hydriques, thermiques**) (**Blum & Ebercon, 1976 ; Huang & Cavalieri, 1979 ; Hubac & Viera Da Silva, 1980 ; Bellinger & *al.*, 1989 ; Dorfling & Askman, 1989 ; Ober & Sharp, 1994**). Certains auteurs (**Singh & *al.*, 1973**) pensent que les quantités accumulées pourraient être liées au niveau de tolérance aux stress.

# Conclusion

# Conclusion

---

## Conclusion

L'étude des effets du stress hydrique et salin sur la morphologie, la physiologie et la biochimie du blé dur a montré que ce dernier est une plante sensible à des concentrations sévères de contraintes abiotiques qui peut présenter des conséquences sur la productivité céréalière.

Afin de déterminer cette sensibilité, nous avons choisi deux variétés de blé dur « Oued el Bared et Bousselam » et nous avons mis sous stress salin (NaCl) et hydrique (PEG6000) à différentes concentrations avec le but d'évaluer les effets de ces deux stress sur la morphologie, la physiologie et la biochimie des plantes à savoir, le taux de germination, le nombre des racines, la teneur relative en eau et la teneur en proline.

À l'issue de ces tests, il ressort que les graines de blé dur présentent une sensibilité face aux contraintes abiotiques (NaCl et PEG6000).

Les principaux résultats ont montré une réduction dans les caractères morpho-physiologiques d'une part et une forte accumulation de proline d'autre part considéré comme indicateur de tolérance de la plante contre le stress appliqué.

À partir des expériences effectuées sur les deux génotypes il ressort que la variété de Oued el Bared est moins tolérante que celle de Boussalem avec des différentes concentrations de stress, d'où on peut utiliser cette information comme éléments de sélection et d'amélioration du blé dur dans telles situations.

La présente étude a montré aussi que les deux variétés utilisaient des stratégies de tolérances assez similaires, avec une différence qui se traduit par la synthèse des marqueurs biochimiques étudiés (la proline).

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographique

---

**Ahmad, I. Z. (2019).** Role of Sugars in Abiotic Stress Signaling in Plants. In *Plant Signaling Molecules* (pp. 207-217). Woodhead Publishing.

**Albouchi A., Sebei H., Mezni MY., El aouni MH., 2000** - Influence de la durée d'une alimentation hydrique déficiente sur la production de biomasse, la surface transpirante et la densité stomatique d'*Acacia cyanophylla* Lin dl. Edit. Annales d'INRGREF, Vol. 4, pp 138-161.

**Alem C., & Amri A. (2005).** Importance de la stabilité membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge, biochimie et environnement, *Reviews In Biology and Biotechnology*, vol 4, N°1 :20-31

**Alem, C., Labhilili, M., Brahmi, K., Jlibene, M., Nasrallah, N., & Filali-Maltouf, A. (2002).** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *Comptes rendus biologiques*, 325(11), 1097-1109

**Allen, R. D. (1995).** Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant physiology*, 107(4), 1049.

**Amouri A.A., & Fyad Lameche F. Z. (2012).** Analyse comparative de la tolérance à la salinité du gamétophyte mâle et du sporophyte chez *Medicago* au stade germination.

**Amouri A.A., Fyad Lameche F.Z., & Karkachi, N. (2015).** Variabilité de la tolérance au stress salin chez deux génotypes contrastés d'une légumineuse *Medicago truncatula* au stade germination. *Algerian journal of arid environment*, 5(2), 17-25.

**Amrouche, I., & Mesbah-El, K.A. (2017).** Effet du stress abiotique sur l'accumulation des protéines totales chez deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Master en Biologie et Génomique Végétale. *Université des Frères Mentouri Constantine*. 25p.

**Anjum S. A., Xie X. Y., Wang L. C., Saleem M. F., Man C., & Lei W. (2011).** Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), 2026-2032.

**APG III. (2009).** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants : APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161: 105-121.

**Barrs H. (1968).** Determination of water deficit in plant tissues. In Kozlowski, T.T. (Ed.), *Water deficit and plant growth* (Vol. 1, pp. 235-863). New York: Academic press.

**Beck E., & Ziegler P. (1989).** Biosynthesis and degradation of starch in higher plants. *Annual review of plant biology*, 40(1), 95-117.

## Références bibliographique

---

- Belaadi M (2014).** Étude de l'effet de la salinité sur la germination et la croissance de quelques variétés d'Haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), Mémoire de master P : 23.
- Belfakih M., Ibriz M., & Zouahri A. (2013).** Effet de la salinité sur les paramètres morpho physiologiques de deux variétés de bananier (*Musa acuminata* L.). *Journal of Applied Biosciences*, **70**(1), 5652-5662.
- Bellinger Y. ; Bensaoud, A. & Lahrer P. (1989).** - Physiological accumulation: a trait of use to breeding for stress tolerance. In ACEVEDO, CONESA, MONNEVEUX & SRIVASTAVA (Eds): Physiologybreeding of winter creats for stressed mediterranean environments. Colloque n° 55., July 3-6, **1989**, *Montpellier, France*, pp. 449-458.
- Ben Yahmed J. (2013).** Thèse de doctorat.Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques Montpellier. 25p.
- Benderradji L., Hadji N., Kellou K ., Benniou R . & Brini F(2016).** Effet du NaCl et PEG 6000 sur le comportement morpho-physiologique et biochimique des variétés de blé dur et tendre cultivées in vitro en milieu hydroponique, *Revue Agriculture*, Université Ferhat Abbas Sétif **1**.p 278 – 286.
- Benderradji L ,(2013).** Sélection in vitro pour la tolérance aux stress salin et thermique chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Thèse de Doctorat. Université des Frères Mentouri Constantine. 20-29-32-33-41-67p.
- Benkaddour M. (2014).** Modifications physiologiques chez des plantes de blé (*Triticum durum* Desf) exposées à un stress salin. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba. 30p.
- Benkhellef I. (2016).** Stratégies génomiques pour une meilleure tolérance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Mémoire de Master en Biologie et Génomique Végétale. Université des Frères Mentouri Constantine. 6p.
- Bensalem N., & Benbitour Z (2005).** Analyse d'une stratégie de communication commerciale d'une entreprise industrielle. Cas de la semoulerie Industrielle de la Mitidja. Mémoire de licence en sciences commerciales: Institut national de commerce Alger. 95p.
- Bill I. (2007).** La biologie d'A à Z : 1100 définitions. Ed. *Dunod, Paris*, **123**
- Blum, A. & Ebercon, A. (1976).** - Genotypic responses in sorghum to drought stress. III. Free proline accumulation and drought resistance. *Crop Science*, **16**, pp. 428-431.
- Boumaaza, B. (2011).** Effets de la salinité sur le comportement écophysologique et biochimiques d'une culture de pois chiche (*Cicer arietinum*.L) au stade juvénile. Mémoire de Magistère. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen. 12-13p.

## Références bibliographique

---

- Brahimi H.A (2017).** Variations phénotypiques pour la tolérance aux stress salin et hydrique chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Mémoire de Master en Biotechnologie et Génomique Végétale. Université Mohamed Boudiaf - M'Sila. 11-18p.
- Chaib G., Benlaribi M., & Hazmoune, T. (2015).** Accumulation d'osmoticums chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous stress hydrique. *European Scientific Journal*, **11**(24), 378-395.
- Chaumeil P. (2006).** Plasticité moléculaire de deux écotypes de pin maritime soumis à un stress osmotique. Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré, France.
- Clarke J. M., & Mac-Gaic, T. N (1982).** Excised-leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of Triticum genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, **62**(3), 571-578.
- Darbyshire, B. (1974).** The function of the carbohydrate units of tree fungal enzymes in their resistance to dehydration. *Plant Physiol.*, **54**: 717-721.
- Debaeke P., Puech J., Casals M. L., & Petibon, P. (1996).** Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. I. Étude en lysimètres.
- Delatorre-Herrera J., Rojas-Urrutia J., Rojo, L. E., & Graf B. L. (2019).** Osmotic stress in *Chenopodium quinoa* Willd.: Variations in osmoprotectants at different phenological stages.
- Djekoun A., & Planchon C. (1992).** Stomatal conductance, photosynthesis and acetylene reduction rate in soybean genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, **72**(2), 383-390.
- Djekoun A., & Ykhlef N. (1996).** Déficit hydrique, effets somatiques et non-stomatiques et activité photosynthétique chez quelques génotypes de blé tétraploïdes. 3ème Réunion du Réseau SEWANA, de Blé Dur.
- Djerah A., & Oudjehih B. (2016).** Effet du stress salin sur la germination de seize variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Courrier du Savoir*, **20**, 47-56.
- Djermoun Abdelkader (2009)** : La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques.
- Dorfling K. & Askman A. (1989).** - Relationship between frost tolerance and formation of proline, abscisic acid and specific proteins in cold hardened winter wheat (*Triticum aestivum*) varieties. XII Eucarpia Congress.
- Dubos C. (2001).** Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré Nancy I: **225p.**

## Références bibliographique

---

- El Jaafari S (1993).** Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Thèse de doctorat. Université Gembloux Belgique. 3-34-214p.
- Erchidi A. E., Benbella M., & Talouizte, A (2000).** Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement grain chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique. CIHEAM, Options Méditerranéennes, *Séries Séminaires*, **40**, 279-282.
- Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., & Basra S. M. A (2009).** Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In Sustainable agriculture (pp. 153-188). Springer, Dordrecht.
- Feillet, (2000),** le grain de blé, composition et utilisation. Edition INRA, Paris: pp23-25
- Feillet (2000).** Le grain de blé composition et utilisation. Ed. INRA. Paris, **308**
- Feliachi K., Amroun R., & Khaldoun A (2001).** Impact de la sécheresse sur la production des céréales cultivées dans le nord de l'Algérie. *Céréaliculture-ITGC Algérie*, **35**, 28-34.
- Freitas P. A. F., Carvalho H. H., Costa J. H., Souza Miranda R., da Cruz Saraiva K. D., de Oliveira, F. D. B., & Gomes-Filho, E (2019).** Salt acclimatation in sorghum plants by exogenous proline: physiological and biochemical changes and regulation of proline metabolism. *Plant cell reports*, **38**(3), 403-416.
- Gate P (1995).** Ecophysiologie du blé, Edit. Lavoisier, Paris, *Technique et documentation*, **429**, p
- Gate P., Giban M. (2003).** Stade du blé, Ed. Paris, *ITCF* .68p
- Gouia H., Ghorbal M. H., & Touraine B (1994).** Effects of NaCl on flows of N and mineral ions and on NO<sub>3</sub>-reduction rate within whole plants of salt-sensitive bean and salt tolerant cotton. *Plant Physiology*, **105**(4), 1409-1418.
- Hajlaoui H., Denden M., & Bouslama M (2007).** Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) *au stade germination*. *Tropicultura*, **25**(3), 168-173.
- Hanana M., Hamrouni L., Cagnac O., & Blumwald E (2011).** Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Environmental Reviews*, **19**(NA), 121-140.
- Haouala F., Ferjani H., & El Hadj S. B. (2007).** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup>) et du chlore (Cl<sup>-</sup>) dans les parties aériennes et les racines du ray grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, **11**(3), 235-244.

## Références bibliographique

---

- Hassani A.,(2009).** L'influence de stress hydrique et salin sur la morphologie, l'anatomie, la physiologie et la biochimie de l'orge et du triticale, Thèse de doctorat de l'Université ES-SENIA D'ORAN, ALGERIE.
- Hopkins W. G. (2003).** Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruxelles : 61-476.
- Hopkins, W. G. (2003).** Physiologie végétale. Bruxelles, Belgique: Editions De Boeck Supérieur.
- Huang A-H-C. & Cavalieri-J. (1979).** - Proline oxidase and water stress-induced proline accumulation in spinach leaves. *Plant. Physiol.*, **63**, pp. 531-535.
- Hubac C. & Vieira da Silva J. (1980).** - Indicateurs métaboliques de contraintes mésologiques. *Physiol. Vég.* , **18**, pp. 45-53.
- Ingram J., & Bartels D. (1996).** The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual review of plant biology*, **47**(1), 377-403.
- Jajoo A. (2013).** Changes in photosystem II in response to salt stress. In *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress* (pp. 149-168). Springer, New York, NY.
- Jaouadi W., Hamrouni L., Souayeh N., & Khouja M. L. (2010).** Étude de la germination des graines d'Acacia tortilis sous différentes contraintes abiotiques. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, **14**(4), 643-652.
- Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P., Casse-Delbart F., (1995):** Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*.**4** (4): 263-273.
- Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P., & Casse-Delbart F. (1995).** Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*, **4**(4), 263-273.
- Maas E. V., & Poss J. A. (1989).** Salt sensitivity of wheat at various growth stages. *Irrigation Science*, **10**(1), 29-40.
- Maillard J. (2001).** Le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zone aride: Risques et Recommandations. Handicap International.
- Maury P., Langlade N., Grieu P., Rengel D., Sarrafi A., Debaeke P., & Vincourt P. (2011).** Ecophysologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. *Innovations Agronomiques*, **14**, 123-138.
- Mefti M., Bouzerzour H., Abdelguerfi A., & Nouar H. (2008).** Morphological and growth characteristics of perennial grass cultivars grown under semi-arid conditions of the Algerian high plateaus. *Journal of Agronomy*, **7**, 138-147.
- Menacer F. (2007).** Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur un marqueur biochimique, cas de la proline chez *Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* (purch) Nntt, 99

## Références bibliographique

---

- Monneveux, P. Araus I. (1992).** Adaptation a la sechresse et notion d'idiotype chez le blé dur, caractaire physiologique d' adaptation. *Revue agronomique* N° **12**, pp 381-393.
- Monneveux P. & Nemmar M. (1986).** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, **6**(6), 583-590.
- Monneveux P., & Nemmar M. (1986).** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, **6**(6), 583-590.
- Moulineau C. (1993).** Variation sous contraintes hydriques de la teneur en acides aminées libres foliaires du mil. Centre d'étude de Cadarache 13108 Saint Paul les Durance Cedex : 234-244 p.
- Munns R., et Tester M., (2008).** - Mechanisms of salinity tolerance. *Ann. Rev. Plant Biol*, **59**, 651-681: 655
- Munns R. (1993).** Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell & Environment*, **16**(1), 15-24.
- Munns R., James R. A., & Läuchli A. (2006).** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of experimental botany*, **57**(5), 1025-1043.
- Neffar F. (2013).** Analyse de l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress abiotiques dans différents génotypes de blé dur (*Triticum durum*) et d'orge (*Hordeum vulgare*) soumis à la sécheresse. Thèse doctorat. Université Ferhat Abbas Sétif. **86p**.
- Ober E.S. & Sharp R.E. (1994).** - Proline accumulation in maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentiels. *Plant. Physiol.*, **105**, pp. 981-987.
- Omar Zeghouane., & Wassila Gueffia., & Mouhamed Amrani.(2018).** bulletin des grandes cultures ITGC P, 7
- Osborne, J.M., Fox, J.E.D., & Mercer, S. (1993).** Germination response under elevated salinities of six semi-arid blue bush species (*Western Australia*). In Lieth, H., & Al Masoom, A. (Ed.), *Towards the Rational Use of High Salinity tolerant Plants* (Vol. **27**, pp. 323-338). Springer, Dordrecht.
- Ouerghi Z., Zid E., Hajji M., & Soltani A. (1998).** Comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum* L.) en milieu salé. *CIHEAM-Options Méditerranéennes*, 309-31.
- Ouhaddach M., Elyacoubi H., Douaik A., Hmouni D., & Rochdi A. (2016).** Réponse à la salinité de quelques paramètres physiologiques et biochimiques du Blé (*Triticum aestivum* L.) au stade montaison.

## Références bibliographique

---

- Oukarroum A., El Madidi S., Schansker G., & Strasser R. J. (2007).** Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. *Environmental and Experimental Botany*, **60**(3), 438-446.
- Passioura J. (2004).** Increasing crop productivity when water is scarce: from breeding to field management. In proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia. pages 12
- Prado F E., Boero C., Gallardo M., Gonzalez J A. (2000).** Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* **41**: 27-34.
- Price A. H., & Hendry G. A. F. (1991).** Iron-catalysed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and three cereals. *Plant, Cell & Environment*, **14**(5), 477-484.
- Radhouane L. (2007).** Response of Tunisian autochthonous pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. *African journal of biotechnology*, **6**(9).
- Rahmoune C., Sdiri H., Meddahi M. L., & Selmi M. (2001).** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, **12**(3), 167-74.
- Redondo-Gomez S., Wharmby C., Castillo J.M., Mateos-Naranjo E., Luque C.J., De Cires A., Luque T., Davy A.J., & Figueroa M.E. (2006).** Growth and photosynthetic responses to salinity in an extreme halophyte, *Sarcocornia fruticosa*. *Physiol Plant*, **128**, 116-124.
- Rejili M., Vadel A. M., & Neffati M. (2006).** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des régions arides*, (**17**), 65-78.
- Sami F., Yusuf M., Faizan M., Faraz A., & Hayat S. (2016).** Role of sugars under abiotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, **109**, 54-61.
- Singh T.N., Paleg L.G Aspinall D.,1973** Nitrogen metabolism and growth in barley plant during water stress. *Aust. J. Biol. Sci.* Vol.**26**, pp45-56.
- Singh T.N. ; Paleg L.G. & Aspinall D. (1973).** - Nitrogen metabolism and growth in barley plant during water stress. *Aust. J. Biol. Sci.*, **26**, pp. 45-56.
- Soltner D. (2005)** - les grandes productions végétales. Ed. Collection sciences et techniques agricoles, 472p

## Références bibliographique

---

**Sreenivasulu N., Grimm B., Wobus U., & Weschke W. (2000).** Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensitive seedlings of foxtail millet (*Setaria italica*). *Physiologia Plantarum*, **109**(4), 435-442.

**Strogonov BP .1964** –Physiological basis of salt tolerance of plant , ( traduit du russe par a POLJAKOFF –MAYBER et AM MAYBER Palestine program *Sci . transl .Jérusalem* ,279

**Troll W., & Lindsley J. (1955).** A photometric method for the determination of proline. *Journal of biological chemistry*, **215**(2), 655-660.

**Villegas D., Aparicio N., Blanco R., & Royo C. (2001).** Biomass accumulation and main stem elongation of durum wheat grown under Mediterranean conditions. *Annals of Botany*, **88**(4), 617-627.

**Witcombe J. R. (2009).** Breeding for abiotic stress for sustainable agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B*, **363**: 703 -716.

**Xu F.S. (1990).** New genus and species of Polyplacophora (Mollusca) from the East China Sea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, **8.4**: 375-377.

**Yeo A. R. (1983).** Salinity resistance: physiologies and prices. *Physiologia plantarum*, **58**(2), 214-222.

**Yokota A., Takahara K., & Akashi K. (2006).** Water stress. In *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants* (pp. 15-39). Springer, Dordrecht.

**Yves Henry et Jacques de Buyser, (2000)** :L'origine des blés, Hors-série n°26, p 60-62; Les quatre flores de France, P. Fournier, Le Chevalier, Paris, 1961) consulté sur (<http://pst.chezalice.fr/svtiufm/ble.htm>).

**Zegrary. (2014).** Zegrary D. Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de sept génotypes de deux variétés de blé dur cultivé en Algérie [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Constantine **1**, 2014, p 67.

### Site d'internet

[1] <https://www.algerie360.com/production-et-importation-de-ble-algerie-quelle-strategie-pour-2023/> 02/07/2023

[2] <https://www.aps.dz/algerie/76925> 24-02-2023

[3] <https://www.planetoscope.com/cereales/191-.html> 24-02-2023

[4] [https://www.researchgate.net/figure/Anatomie-du-grain-de-ble-tendre-Le-grain-de-ble-est-constitue-de-trois-parties\\_fig7\\_317814710](https://www.researchgate.net/figure/Anatomie-du-grain-de-ble-tendre-Le-grain-de-ble-est-constitue-de-trois-parties_fig7_317814710) 20-02-2023

[5] <http://pst.chez-alice.fr/svtiufm/ble.htm> 22-02-2023

# Annexes

## Annexe A : Les fiche techniques de (Oued El bared , Bousselam).

**Blé dur**

### Oued El Bared



**Année d'inscription** : 2016  
**Zone d'adaptation** : Hauts plateaux, plaines intérieures Est

#### Caractéristiques morphologiques

**Hauteur de la plante à la maturité** : Moyenne  
**Glaucescence du limbe** : Moyenne  
**Glaucescence de la gaine** : Moyenne  
**Couleur de l'épi** : Blanc  
**Couleur des barbes à maturité** : Noire

#### Caractères spécifiques

**Plante (port au tallage)** : Dressé.  
**Epi (glaucescence)** : Moyenne.  
**Paille moelle en section transversale** : Peu épaisse  
**Epi (forme)** : Pyramidale.  
**Epi (compacité)** : Moyenne.

#### Caractéristiques culturales

**Alternativité** : Hiver  
**Cycle végétatif** : Précoce  
**Tallage** : Fort

#### Comportement physiologique

**Au froid** : Tolérante  
**À la verse** : Hautement tolérante  
**À la sécheresse** : Tolérante  
**Egrenage** : Hautement tolérante



Blé dur

# Boussellam



Origine : Syrie  
 Pédigrée : Heider/Marli/Heider-Cro ICD  
 -414-1BLCTR-4AP  
 Obtenteur : Semilas Fito .Sa.  
 Demandeur : ITGC  
 Année d'inscription : 2007

## CARACTÉRISATION AU CHAMP



**Coléoptile**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Première feuille**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Plante**  
 Port au tallage : Mi- dressé à mi- étalé  
 Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante : Nulle ou très faible  
 Hauteur (tige, épi et barbes) : Moyenne



**Dernière Feuille:**  
 Glaucescence de la gaine : Moyenne  
 Glaucescence du limbe : Faible

Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) : Précoce

**Barbes**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Tige**  
 Pilosité du dernier nœud : Nulle ou très faible  
 Glaucescence du col de l'épi : Faible

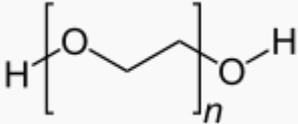
**Epi**  
 Glaucescence : Faible

## CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC

**Barbes**  
 Distribution des barbes : Sur toute la longueur  
 Longueur par rapport à l'épi : Plus longues  
 Couleur : Noire

## Annexes

### Annexe B : fiche techniques de PEG-6000.

PEG	
	
Structure (avec $n \geq 4$ )	
Identification	
No CAS	25322-68-3
No ECHA	100.105.546
No CE	500-038-2
No E	E1521
SMILES	
Apparence	<600 g/mol : liquide incolore, visqueux, légèrement hygroscopique ; >1 000 g/mol : solide blanc
Propriétés chimiques	
Formule	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O [Isomères]
Masse molaire <sup>2</sup>	44,052 6 ± 0,002 2 g/mol C 54,53 %, H 9,15 %, O 36,32 %,
Propriétés physiques	
T° fusion	56 à 63 °C (PEG-6000)
Masse volumique	1,21 g/cm <sup>3</sup> (PEG-6000, 25 °C)
T° d'auto-inflammation	environ 360 °C
Viscosité dynamique	470 à 900 cSt (PEG-6000, 98,9 °C)

## Résumé

### Résumé :

Les stress hydrique et salin sont considérés parmi les principaux facteurs abiotiques limitant la croissance et le développement des plantes, l'objectif de cette étude est de comparer le comportement de deux variétés de blé dur face à ces stress, tout d'abord nous avons réalisé un test de germination en présence des doses croissantes de NaCl et de PEG-6000 chez deux variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*) Oued bared et Boussalem, ces variétés ont été ensuite cultivées en pots pendant trois semaines et irrigués avec des solutions contenant le NaCl et le PEG-6000 suivant les concentrations précédemment mentionnées et cela pendant 7 jours. Différents paramètres ont été ensuite étudiés à savoir : la teneur relative en eau et le taux de proline, les résultats obtenus ont montré que les deux stress appliqués, ont un effet dépressif sur le taux de germination et sur la croissance des plantules, ce dernier varie en fonction de l'intensité du stress et de la variété étudiée.

**Mots clés :** Blé dur, NaCl, PEG-6000, germination, tolérance.

### ملخص :

يعتبر الإجهاد المائي والملح من بين العوامل غير الحيوية الرئيسية التي تحد من نمو وتطور النباتات، والهدف من هذه الدراسة هو مقارنة سلوك نوعين من القمح الصلب في مواجهة هذه الضغوط , بداية : أجرينا اختبار الإنبات في وجود جرعات متزايدة من كلوريد الصوديوم و بوجود PEG-6000 في نوعين من القمح الصلب واد بارد وبوسلام, بعد نمو هذه الأصناف في أصص لمدة ثلاثة أسابيع , تم سقيها بمحاليل تحتوي على كلوريد الصوديوم و PEG-6000 حسب التركيزات المذكورة سابقاً لمدة 7 أيام. ثم تمت دراسة المتغيرات المختلفة وهي: المحتوى المائي النسبي ومحتوى البرولين , أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الإجهادين المطبقين لهما تأثير سلبي على معدل الإنبات وعلى نمو الشتلات ، وتفاوتت الأخيرة حسب شدة الإجهاد والصنف المدروس.

**الكلمات المفتاحية:** قمح صلب , كلوريد الصوديوم, PEG-6000 الانبات , الاجهاد.

### Summary:

Water and salt stress are considered to be the main abiotic factors limiting plant growth and development, and the aim of this study was to compare the behavior of two durum wheat varieties under these stresses. First, we performed germination experiments in two varieties of durum wheat (*Triticum durum Desf.*) at increasing doses of NaCl and PEG-6000 Oued bared and Boussalem, considering the different variables representing the responses of the breeds studied, These varieties were then grown in pots for three weeks and irrigated for 7 days with a solution containing NaCl and PEG-6000 according to the previously mentioned concentrations, The obtained results showed that the two stresses applied had an inhibitory effect on germination rate and seedling growth, the latter varied according to the stress intensity and the variety studied.

**Key words:** Durum Wheat, Sodium Chloride, PEG-6000, Germination, Stress.