



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية Z  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine 1  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة 1  
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Biologie et Ecologie Végétale

قسم : البيولوجيا و علم البيئة النباتية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologies

Spécialité : *Biotechnologie et Génomique Végétale*

**Intitulé :**

---

**Effet du stress osmotique sur la germination chez le blé dur  
(*Triticum durum Desf.*) : accumulation des osmolytes.**

---

Présenté et soutenu par : *BOUKERROUCHE Nourelhouda*

Le : 08/07/2021

**Jury d'évaluation :**

**Présidente du jury : MOUELLEF Adra, MCB - UFM Constantine.**

**Encadrant : YKHLEF Nadia, Pr- UFM Constantine.**

**Examinatrice : HAMPLA Chourouk, MCB - UFM Constantine.**

*Année universitaire  
2020 - 2021*

## *Remerciements*

Ma gratitude est pour le miséricordieux tout puissant qui m'ont généreusement envahie par ses grâces et ses bienfaits.

Je tiens à exprimer ma grande gratitude et mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué à ma formation tout au long de mon parcours universitaire.

Je remercie vivement mon encadreur, le Pr.YKHLEF Nadia, à qui je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et mon respect à son égard pour avoir accepté de m'encadrer et me donner de précieux conseils et orientations, me manifester sa disponibilité, sa patience, et sa gentillesse.

Je remercie également et chaleureusement, Mme Hayoun houda, qui a accepté d'être mon Co-encadreur et m'a généreusement suivi, conseillé et orienté, qu'elle trouve ici l'expression de ma profond gratitude.

Mes plus vifs remerciements vont aussi au Mme Mouellef Adra maitre de conférence B. Pour avoir bien voulu me faire l'honneur de présider le jury. Ainsi qu'au Mlle., Hamla Chourouk maitre conférence B à l'Université Mentouri Constantine pour avoir accepté d'examiner ce travail et d'être membre de ce jury.

Ma considération va également à tous mes enseignants qui m'ont permis d'acquérir de nombreuses connaissances, Particulièrement toute l'équipe Pédagogique de la spécialité ^^Biotechnologie et génomique et végétale ^^.

Merci à tous...

Merci pour tout...

## *Dédicace*

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie.

Je dédie mon travail à mes très chers respectueux et magnifique parents ma mère Farida et mon père Boubaker qui m'ont soutenu, encouragé et assisté toute au long de ma vie.

À la mémoire de mes grands-parents paternels et maternels, ceux qui je connu et ceux que je n'ai pas eu le plaisir de connaître, que dieu leur accorde la paix éternelle et les accueille dans son vaste paradis.

À mes deux sœurs Ikram et choubella et mes frères et leur familles, à 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 cousins et amis, ou qu'ils se trouvent, a tous ceux que j'ai amis de citer, mais qui me reste toujours chers, tant qu'ils sont nombreux.

À mes deux familles, Boukerrouche et debache.

## **Résumé :**

La croissance et le rendement de la culture du blé dur en Algérie sont limités, à cause des facteurs auxquels on peut remédier par la compréhension des mécanismes de tolérance au stress chez cette céréale. Ces mécanismes aident également à pallier aux effets néfastes du stress et à dévoiler les stratégies adaptatives mises en place par cette céréale.

Quatre variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*). Waha, vitron, simito et GTA ont été utilisées dans nos expérimentations. Une étude de la germination a été réalisée en présence de NaCl et en présence de PEG-6000, en prenant en compte différentes variables représentatives de la réponse des variétés étudiées à ce stade. Deux paramètres biochimiques ont été considérés : le taux de sucres solubles et le taux de proline.

Les résultats obtenus montrent que les deux stress appliqués affectent le comportement de l'ensemble des variétés étudiées et permettent la compréhension des mécanismes de tolérances au stress abiotique des quatre variétés, qui semblent privilégier, la stratégie adaptative comme réponse au stress osmotique.

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

## ***Summary:***

The growth and yield of the durum wheat crop in Algeria are limited, due to factors that can be remedied by understanding the stress tolerance mechanisms in this cereal. These mechanisms also help to mitigate the harmful effects of stress and to reveal the adaptive strategies put in place by this cereal.

Four varieties of durum wheat (*Triticum durum Desf*) Waha, vitron, simito and GTA were used in our experiments. A germination study was carried out in the presence of NaCl and in the presence of PEG-6000, taking into account various variables representative of the response of the varieties studied at this stage. Two biochemical parameters were considered: the rate of soluble sugars and the rate of prolin.

The results obtained by the two approaches complement each other and allow us to understand the mechanisms of tolerance to abiotic stress in the four varieties, which seem to favor the adaptive strategy as a response to osmotic stress.

***Key words:*** Durum wheat, NaCl, PEG-6000, germination, tolerance, water stress, salt stress.

## ملخص:

إن نمو وإنتاجية محصول القمح الصلب في الجزائر محدودان، وذلك بسبب العوامل التي يمكن علاجها من خلال فهم آليات تحمل الإجهاد في هذه الحبوب. تساعد هذه الآليات أيضًا في التخفيف من الآثار الضارة للإجهاد وكشف الاستراتيجيات التكيفية التي وضعتها هذه الحبوب.

تم استخدام أربعة أصناف من القمح الصلب (*Triticum durum Desf.*) في تجاربنا. أجريت دراسة الإنبات بوجود كلوريد الصوديوم وبوجود PEG-6000 مع الأخذ بعين الاعتبار المتغيرات المختلفة الممثلة لاستجابة الأصناف المدروسة في هذه المرحلة. تم النظر في متابعة متغيرات كيميائية حيوية مختلفة: معدل السكريات الذائبة ومعدل البرولين.

النتائج التي تم الحصول عليها من خلال النهجين تكمل بعضها البعض وتسمح لنا بفهم آليات التسامح مع الإجهاد اللاأحيائي للأصناف الأربعة، والتي يبدو أنها تفضل استراتيجية التكيف كاستجابة للإجهاد التناضحي.

**الكلمات المفتاحية:** القمح الصلب، NaCl، PEG-6000، الإنبات، التحمل، الإجهاد المائي، الإجهاد الملحي.

## ***Liste des abréviations et des acronymes***

**CG :** Cinétique de germination.

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

**G :** GTA dur.

**G :** Taux de germination finale.

**MDG :** Germination moyenne journalière.

**NaCl :** Chlorure de sodium.

**NGG :** Nombre de graines germées.

**NTG :** Nombre total de graines incubées.

**PEG :** Polyéthylène Glycol.

**S :** Simito.

**SH :** stress Hydrique.

**SS :** Stress salin

**V :** Vitron.

**W :** Waha.

## **Liste des figures**

<b>Figure 1 :</b> Diverses espèces de blé (Anne-laure, 2007).....	3
<b>Figure 2 :</b> Origines possibles du blé (Sears, 1954 ; Okamoto, 1962 ; Auriou et al.,1992).....	4
<b>Figure 3 :</b> Les différents stades de développement du blé (Feddaoui et Bouchelagham;2018).....	8
<b>Figure 4 :</b> Schéma histologique d'une coupe longitudinale d'un grain de blé (Bonneche, 2015).....	11
<b>Figure 5 :</b> Courbe théorique d'imbibition d'une semence (Côme, 1982).....	14
<b>Figure 6 :</b> Photographie des graines des quatre variétés de blé utilisé dans l'étude.....	21
<b>Figure 7 :</b> Dispositif utilisé pour la germination.....	23
<b>Figure 8 :</b> Photographie de proline extrait des quatre variétés étudiée .....	26
<b>Figure 9 :</b> Représentation en histogramme des taux moyen de germination finale sous stress salin (NaCl) chez les quatre variétés de blé dur étudiées. Les valeurs constituent les moyennes $\pm$ écarts types (n=3).....	27
<b>Figure 10 :</b> Représentation en histogramme des taux moyen de germination finale sous stress hydrique (PEG-6000) chez les quatre variétés de blé dur étudiées. Les valeurs constituent les moyennes $\pm$ écarts types (n=3).....	28
<b>Figure 11 :</b> Courbe de la cinétique de génotype Waha.....	30
<b>Figure 12 :</b> Courbe de la cinétique de germination du génotype Vitron.....	30
<b>Figure 13 :</b> Courbes de la cinétique de germination du génotype Simeto.....	31
<b>Figure 14 :</b> Courbe de la cinétique de germination du génotype GTA dur.....	31
<b>Figure 15 :</b> Variation de la teneur en proline solubles sous différentes stress (salin et hydrique) chez les quatre variétés de blé dur étudiées après une semaine d'exposition.....	34
<b>Figure 16 :</b> Variation de la teneur en sucre solubles sous différentes stress (salin et hydrique) chez les quatre variétés de blé dur étudiées après une semaine d'exposition.....	36



## *Liste des tableaux*

<b>Tableau 1 :</b>	Classification taxonomique du blé dur (Feillet, 2000).....	5
<b>Tableau 2 :</b>	composition chimique de grain de blé (Feillet, 2000).....	12
<b>Tableau 3 :</b>	les variété étudiée et leurs pedigrees et origines.....	21
<b>Tableau 4 :</b>	Composition de solution nutritive de Broughton et Dillworth (BD).....	23
<b>Tableau 5 :</b>	Germination moyenne journalière des quatre génotypes.....	32
<b>Tableau 6 :</b>	Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur en proline (Pro) des variétés de blé dur testées de PEG-6000.....	34
<b>Tableau 7 :</b>	Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur en proline (Pro) des quatre variétés de blé dur testées de NaCl.....	35
<b>Tableau 8 :</b>	Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur en proline (Pro) des quatre variétés de blé dur testées de NaCl.....	37
<b>Tableau 9 :</b>	Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur en sucre (suc) des variétés de blé dur testées de NaCl.....	37

# Sommaire

## Introduction

.....1

## Chapitre I : revue bibliographique

1. Le blé dur.....	3
1.1 .Généralité.....	3
1.2 .Origine .....	4
1.3 .Classification botanique .....	5
1.4 . Les stades de développement de blé dur .....	6
1-4-1 Période végétative .....	6
1.4.2 Périodes reproductrice.....	7
1.5. L'importance de blé dur .....	9
1.5.1 Dans le monde .....	9
1.5.2 En Algérie .....	9
2. la germination.....	10
2.1 Définitions .....	10
2.2. Les types de germination .....	10
2.3. Composition du grain du blé.....	11
2.4 .Conditions de germination .....	12
2.4.1. Conditions externes de la germination .....	12
2.4.2. Conditions internes de la germination.....	12
2.5. Physiologies de la germination .....	13
3-Le stress hydrique : les effets et mécanisme d'aptation .....	14
3.1. Stress hydrique .....	15

3.2. Les effets du stress hydrique sur la germination .....	16
3.3. Mécanisme d'adaptation des plantes à la sécheresse .....	16
3-3-1 La stratégie d'esquive.....	16
3-3-2 La stratégie d'évitement .....	17
3-3-3 La stratégie de tolérances.....	18
4. Le stress salin : les effets et mécanisme d'adaptation.....	18
4-1 le stress salin .....	18
4-2 l'effet du stress salin sur la germination .....	19
4-3 mécanismes d'adaptation au stress salin .....	20

<b>Chapitre II : Matériel et méthodes</b>	
---	--

1. Matériel végétale.....	21
2. Mise en place de l'essai .....	22
3. Plan expérimental.....	22
4. Paramètres étudiés .....	24
4.1. Taux de germination final (G, %)......	24
4.2. Cinétique de germination (CG, %)......	24
4.3. Germination moyenne journalière (MDG, %)......	24
5. Extraction et dosage de la proline ( $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ ) .....	25
6. Extraction et Dosage spectrométrique des sucres totaux .....	26

<b>Chapitre III : Résultats et discussion</b>	
---	--

1. Effet des stress salin et hydrique sur la germination .....	27
1.1 Variation des taux de germination finale (G, %)......	27

1.2 Evolution de la cinétique de germination (CG, %) .....29

1.3. Variation de la germination moyenne journalière (MDG, %).....32

2. Evolution des teneurs en proline (µg/100mg MF).....33

3. Evolution des teneurs en sucres solubles (µg/100mg MF).....36

**Conclusion et perspectives**

.....39

**Références bibliographie**

.....41

# **Introduction**

### ***Introduction***

Les céréales représentent une part essentielle de l'alimentation humaine et animale, notamment le blé dur (*Triticum durum Desf.*) 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).

En Algérie, Les céréales en général, le blé en particulier constituent la principale base du régime alimentaire pour le consommateur. Le secteur des céréales occupe une place vitale en termes socio-économiques et parfois politique. Sur le marché mondial, l'Algérie demeure toujours parmi les grands importateurs de céréales en particulier le blé du fait de la faible capacité de la filière nationale à satisfaire les besoins de consommation croissants de la population (Benseddik et Benabdelli, 2000).

Toutefois, la céréaliculture algérienne reste très dépendante des conditions climatiques. Cette dernière est d'ailleurs très influencée par les effets néfastes des stress abiotiques notamment le stress salin et le stress hydrique (Djermoune, 2009).

La sécheresse et la salinité sont les contraintes environnementales qui causent le plus de dommages 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 semi-arides 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 (Hkayet et Abdelly, 2004).

Pour parer à cette situation, améliorer les rendements de la céréaliculture algériennes et réduire la dépendance alimentaire du pays envers les importations, il paraît nécessaire de recourir à la culture de variétés tolérante au déficit hydrique et la sécheresse.

Dans ce contexte la compréhension des effets du déficit hydrique et salin sur le comportement des variétés dans les différentes phases de leur développement en particulier dans la phase germinatif, s'avère être d'une importance réelle.

A cet effet et à travers notre étude, nous avons tenté de répondre aux objectifs suivants :

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

Le présent mémoire est structuré en trois grands chapitres qui sont devancés par une introduction :

- ✓ Le chapitre I, représente une synthèse bibliographique mettant l'accent sur l'importance du matériel végétal ayant fait l'objet de cette étude. Mais aussi l'impact du stress hydrique et salin sur les plantes et les mécanismes d'adaptation mise en place pour faire face à ces deux contraintes.
- ✓ Le chapitre II, englobe une description du matériel végétal, des conditions de culture et des paramètres d'analyse choisis pour répondre aux objectifs fixés.
- ✓ Le chapitre III, est réservé à la description des résultats ainsi que leurs discussions.

Pour finir le manuscrit est achevé par une liste de référence bibliographique.

**Chapitre I :**  
**Revue bibliographique**

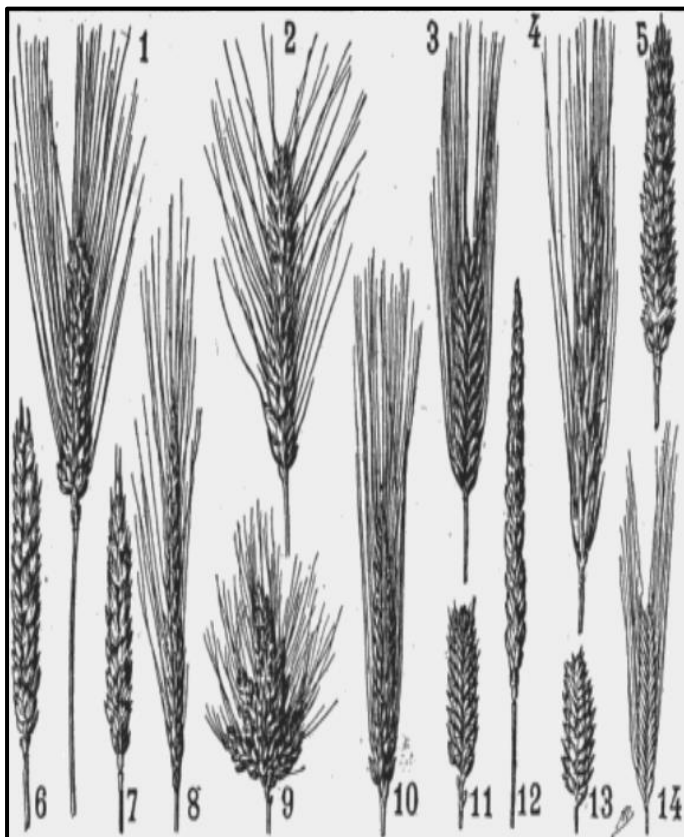


## 1. Le blé dur

### 1.1. Généralité

Les céréales représentent 45 % des calories consommées par les humains. Les civilisations ont commencé par leur utilisation systématique, 75 % de la consommation mondiale de céréales correspond à trois grandes catégories. Le blé, l'orge, le seigle et l'avoine constituent la première catégorie importante de céréales. Dans le Triangle Fertile, il apparaît le maïs qui constitue un deuxième groupe important, Il est né en Amérique centrale et a grandi aux États-Unis. C'est là que les civilisations amérindiennes ont commencé. Un troisième grand rassemblement est assemblé Autour du riz (Clerget, 2011).

Le blé est une plante annuelle herbacée, monocotylédone qui appartient au *genre Triticum* de la famille des graminées. Plusieurs espèces de blé existent (figure 1). (Anne-laure, 2007).



- 1) Blé Nonette de Lausanne
- 2) Blé d'automne rouge
- 3) Amidonnier noir
- 4) Blé de pologne
- 5) Blé Victoria d'automne
- 6) Blé Blanc de Flandre
- 7) Blé Richellede Naples
- 8) Épeautreblanc barbu
- 9) Blé Miracle
- 10) Blé Poulardblanc lisse
- 11) Blé Carré de Sicile
- 12) Épeautreblanc sans barbe
- 13) Blé du Chili
- 14) Engrain

**Figure1:** Diverses espèces de blé (Anne-laure, 2007).

Aujourd'hui, deux espèces dominent la production, il s'agit du :

- Blé tendre (*Triticum aestivum*) : qui représente plus de 90% de la production mondiale
- Blé dur (*Triticum durum Desf.*) : qui constitue 5% de celle-ci et qui est traditionnellement cultivé dans le bassin méditerranéen (Gooding, 2009).

**Le blé dur** est principalement employé pour la consommation humaine et davantage que la moitié de la surface cultivée se situe dans le bassin méditerranéen. Les régions de milieu et du Proche Orient et l'Afrique du Nord sont considérées les centres d'origine et de la diversification du blé dur. (Vavilov, 1951).

En Algérie, on peut estimer à 1.200.000 hectares les superficies consacrées au blé dur. C'est par excellence une culture indigène, car il est particulièrement adapté au milieu, à la chaleur et au manque d'humidité (Jean Blottière, 1930).

## 1.2. Origine

C'est par le blé qu'a commencé la "culture", le mot étant pris dans toutes ses acceptations agricole et sociale, lors de la transition entre la période paléolithique (paléo = ancien) et la période néolithique (néo = nouveau). L'ensemble des transformations pratiques nécessaires a été telle qu'on qualifie ce passage de "révolution néolithique". Elle s'est produite dans ce qu'on appelle le "Noyau Levantin", dans la région qui va de la vallée du Jourdain à l'Euphrate et qui forme un large arc de cercle ou "Croissant Fertile".

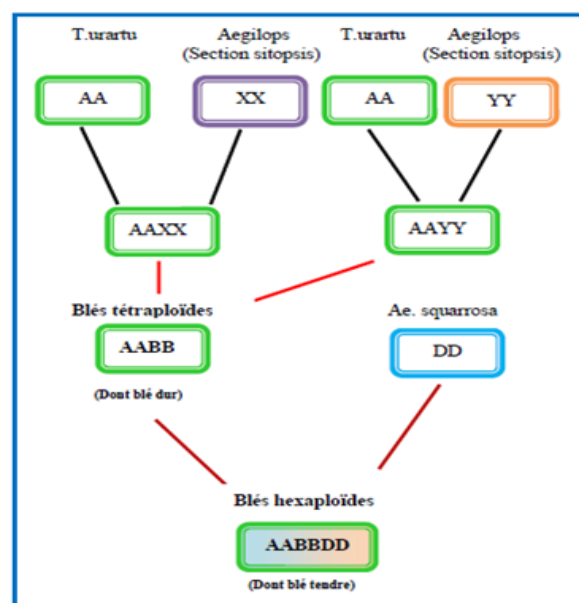


Figure 2 : Origines génétique possible du blé (Sears, 1954 ; Okamoto, 1962 ; Auriiau et al., 1992).

### 1.3. Classification botanique

D'un point de vue botanique, le blé est une monocotylédone appartenant à la famille des graminées, divisées génétiquement selon leur nombre de chromosomes.

- Le blé dur, utilisé pour la fabrication de pâtes alimentaires, présente un génome tétraploïde (génome AA BB). Chaque génome est constitué de 7 paires de chromosomes homologues, soit un total de 28 chromosomes ( $2n = 28$ ).
- Le blé tendre, essentiellement utilisé pour la fabrication du pain, est hexaploïde (génome AA BB DD) avec un total de 42 chromosomes (Mariana simões Iarráz Ferreira, 2011)

La filiation génétique des blés est complexe et incomplètement élucidée. Le croisement naturel *Triticum monococcum* (génome A) X *Aegilops* (génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type (AABB) (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoïdes*), qui a ensuite progressivement évolué vers *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccum*, puis vers *Triticum durum* (blé dur cultivé). Les blés tendres cultivés (AABBDD) seraient issus d'un croisement, également naturel, entre *Triticum turgidum* ssp. *dicoccum* (AABB) et *Aegilops squarrosa* (DD) (Sears 1954, Okamoto 1962, Auriau et al., 1992).

Selon (Feillet, 2000) le blé est une plante monocotylédone de l'ordre des poales, de la famille des poaceae appartenant au genre *Triticum*. C'est une céréale dont le fruit sec et indéhiscence, est appelé caryopse.

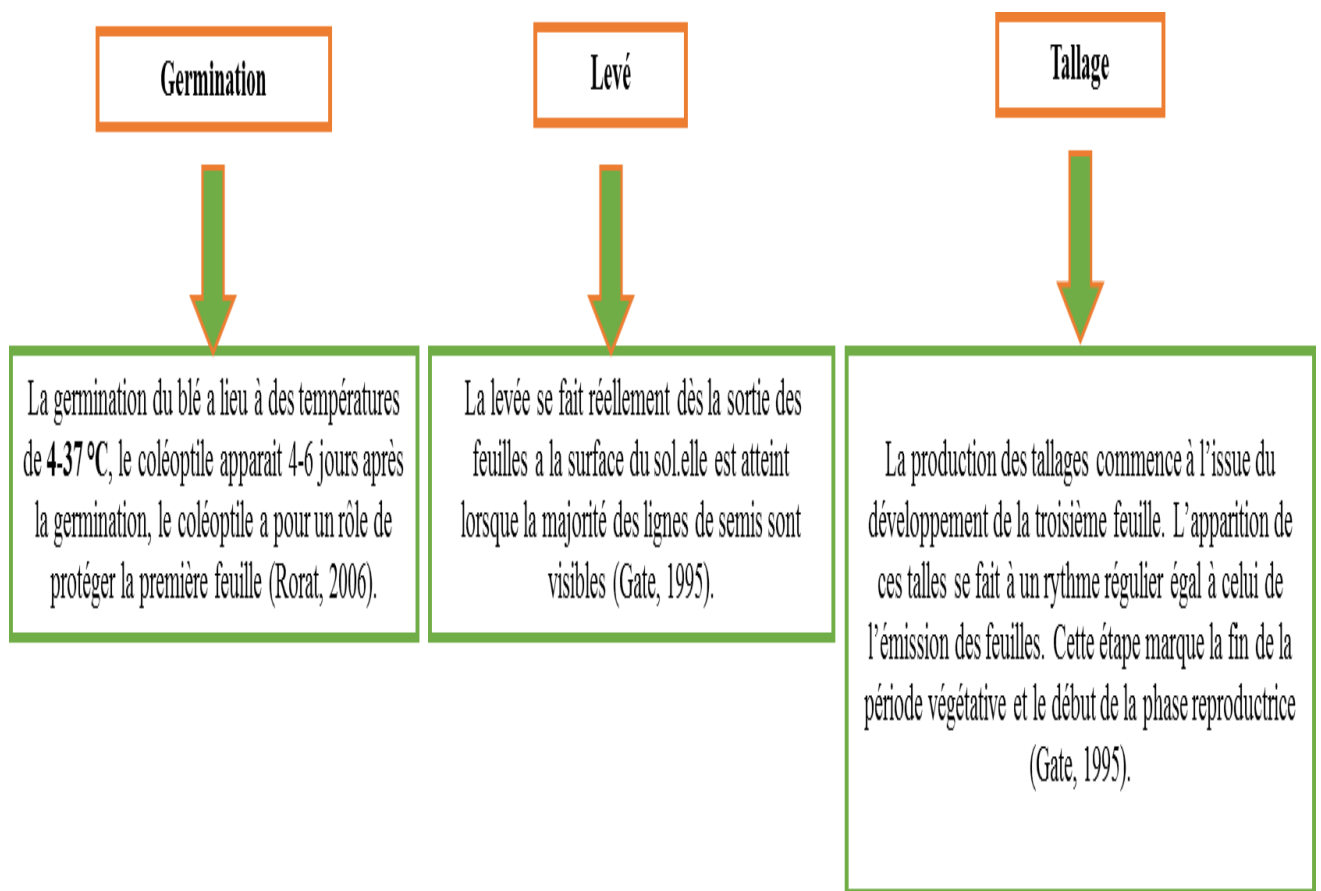
**Tableau 1** : Classification taxonomique du blé dur (Feillet, 2000).

Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Angiosperme
Classe	Monocotylédone
Ordre	Poales
Famille	Poaceae
Tribu	Triticeae
Genre	Triticum
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf

## 1-4 Les stades de développement de blé dur

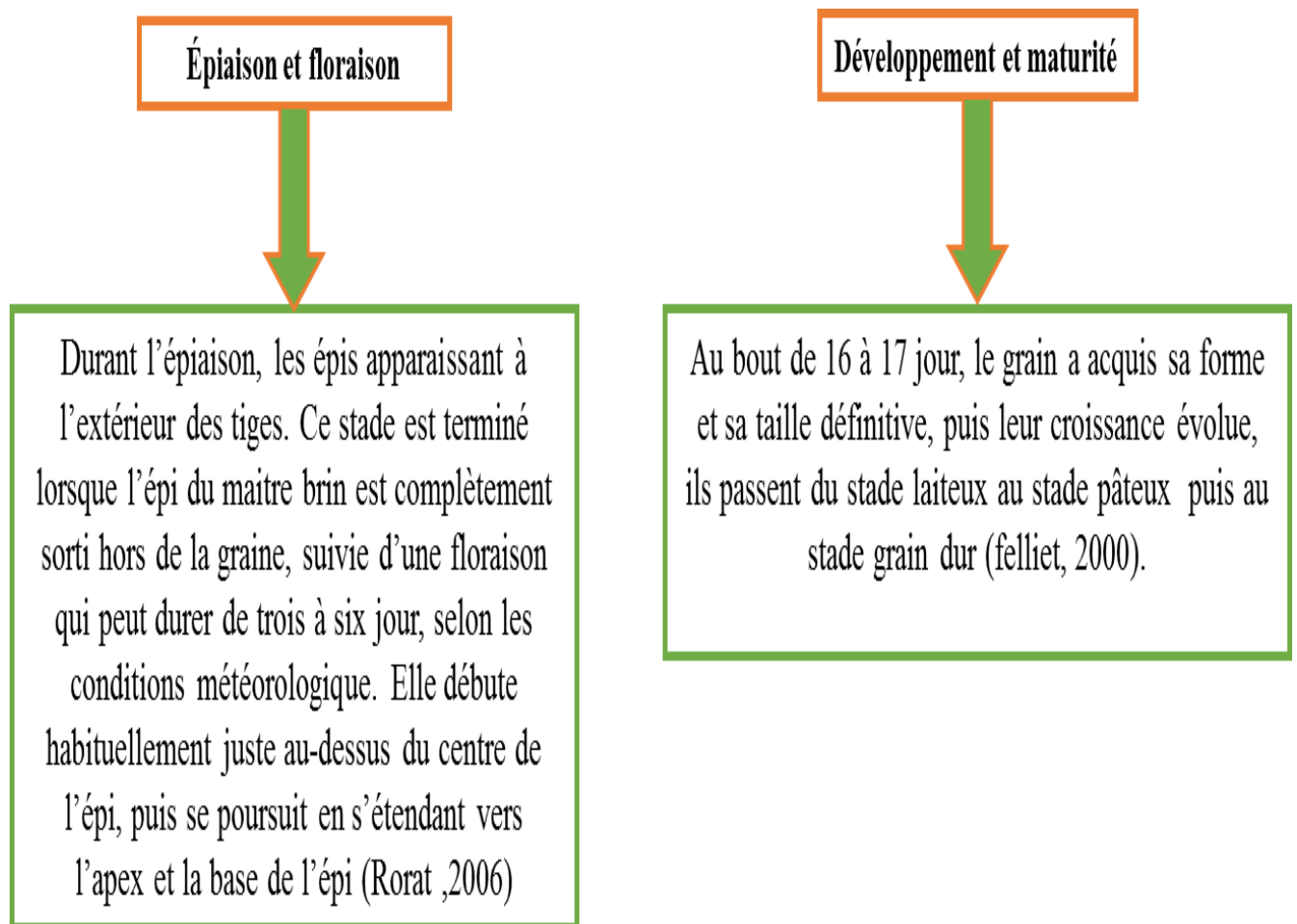
Le cycle de développement du blé est constitué d'une série d'étapes séparées par des stades repérés, permettant de diviser en deux périodes la vie des céréales. Une période végétative durant laquelle, la plante ne se différencie que des feuilles et des racines ; une période reproductrice dominée par l'apparition de l'épi et la formation du grain (Feddaoui et Bouchelagham;2018).

### 1-4-1 Période végétative



**Figure** : Schéma représente la période végétative.

### 1-4-2 périodes reproductrice



**Figure** : Schéma représente la période reproductrice.

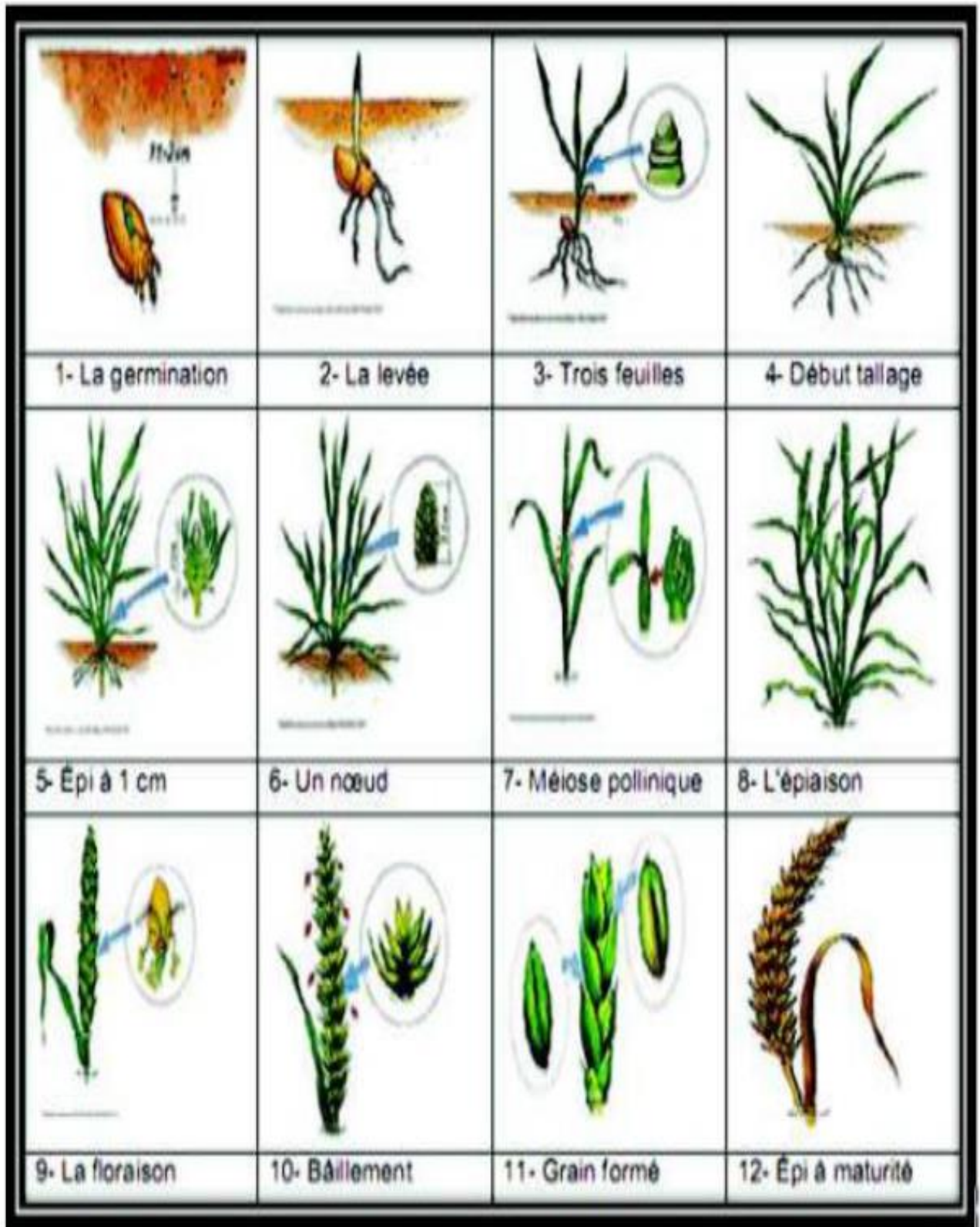


Figure 03 : les différents stades de développement du blé (Feddaoui et Bouchelaghani;2018).

## **1.5. Importance du blé dur**

### **1.5.2. Dans le monde**

Les céréales, le blé en particulier occupe une place importante dans la production agricole et constitue la nourriture de base pour 35% de la production mondiale (Mebarkia *et al* ; 2005). De toutes les plantes cultivées, le blé est celle qui a pris le plus d'importance dans l'alimentation de l'être humain, c'est ce qui fait que c'est la plante la plus cultivée des céréales. La production mondiale de blé en 1990 était de 595,5 millions de tonnes, la première céréale avant le riz (519,0 millions de tonnes) et le maïs (470,3 millions de tonnes). La pomme de terre arrive ensuite avec 287 millions de tonnes et la patate douce 110 (Glenn lennox, 2003).

La chine est devenue le premier producteur mondial devant l'union européenne, les pays de l'ex-URSS, les Etats-unis et l'inde (Benseddik, b1983). On peut cultiver le blé sans irrigation avec moins de 50 cm de précipitations annuelles; seuls l'orge et le mil résisteraient mieux à un déficit en eau. Sa tolérance au froid est remarquable; il supporte la neige et le gel prolongé. Il a conquis les pays humides et froids (Pays-Bas, Danemark) et donne les meilleurs rendements dans des contrées apparemment vouées à l'herbage (Henry *et al*, 2000).(Hamel ,2010).

Les habitants des pays arabes semblent être les plus gros consommateurs à l'échelle mondiale. Près de 700 grammes par personne et par jour au Maroc, environ 600 grammes pour : la Tunisie, l'Algérie et l'Égypte, contre 400 grammes en Inde ou encore 320 grammes en France (Abis, 2012).

### **2.5.2. En Algérie**

La céréaliculture constitue l'une des principales activités, notamment dans les zones arides et semi-arides (Ducellier, 1931). On estime qu'environ 3.5 millions d'ha des superficies agricoles est consacré à la culture des céréales, cela a d'ailleurs été confirmé par les statistiques de l'année 2017 de l'ONFAA (Observatoire National des Filières Agricole et Agronomie), dont 40% est occupée par le blé dur (Benabdelkader et Nouar, 2018).

La majorité des utilisations du blé concerne en premier lieux l'alimentation humaine grâce à sa richesse en protéines et à la présence du gluten qui donne aux pâtes alimentaires une meilleure tenue à la cuisson. D'ailleurs, la production de pâtes alimentaires, de pains levés et non levés, de couscous ainsi que d'autres aliments traditionnels est couramment associée à

l'utilisation du blé dur (Graziano et al., 2019). Mais aussi la paille qui est utilisée comme aliment pour les animaux (Hébrard, 1996 ; Doré et Varoquaux, 2006 ; Debiton, 2010).

Depuis quelques années on a également recours à cette céréale dans le secteur industriel, pour la fabrication de biocarburant ou encore de bioplastiques à base de gluten ou d'amidon. Les principaux débouchés sont les sacs plastiques, les plastiques agricoles, les emballages et certains produits d'hygiène. Dans l'industrie pharmaceutique, il pourrait être utilisé en tant que dragéifiant, liant ou encore principe actif tel que le sorbitol. Dans de moindres proportions, l'amidon transformé peut être employé dans la fabrication de papier, de carton, mais aussi de détergents (Debiton, 2010).

L'importance du rôle économique et nutritionnel des céréales fait que chaque pays dans le monde se doit de se prémunir et d'assurer un minimum de sécurité alimentaire. Pour cela, les gouvernements mettent en place un ensemble de politiques, de plans, de mesures et de précautions pour veiller au bon maintien et au développement de ce secteur agricole (Bourihane et Mekkaoui, 2013).

## **2. La germination**

### **2.1. Définition**

La germination est définie comme la somme des évènements qui conduisent la graine sèche à germer ; elle commence par la prise d'eau et se termine par l'allongement de l'axe embryonnaire (Yakoubi, 2014).

La germination est le passage de la vie latente de la graine à la vie active, sous l'effet de facteurs favorables. C'est un processus physiologique dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et le tout début de la croissance de la radicule. Une semence a germé, lorsque la radicule a percé les enveloppes ou elle est visiblement allongée.

### **2.2. Les types de germination**

Touria (2017) a mentionné dans leur mémoire de master qu'il existe deux types de germination au sens large :

- La germination épigée « germination épicotyle »: Au cours de laquelle l'allongement de la tigelle porte les cotylédons au-dessus du niveau du sol ;

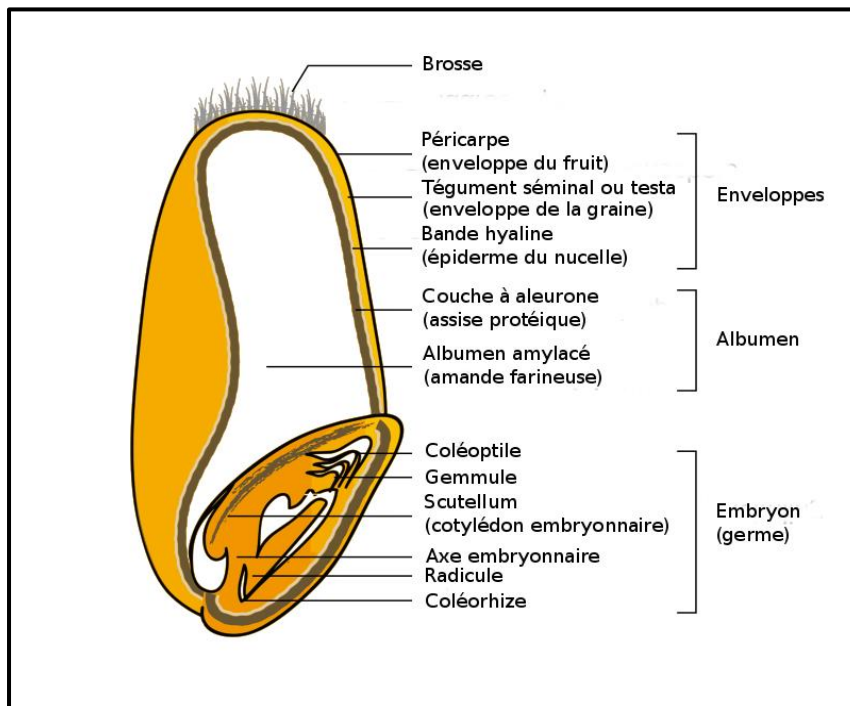


- La germination hypogée « germination hypocotyle »: Au cours de laquelle, la tigelle ne s'allonge pas et les cotylédons restent en terre (Meyer et al., 2004).

### 2.3. Composition du grain de blé

Un grain de blé est formé principalement de trois régions (Figure 4) :

- Les enveloppes (13-15% du grain de blé) comprennent à la fois celles des fruits en périphérie et celle de la graine. Elles sont composées de cinq tissus superposés. De la surface externe vers le centre du grain se trouvent successivement le péricarpe externe (épicarpe) et le péricarpe interne constitué par le mésocarpe et l'endocarpe. Viennent ensuite la testa et l'épiderme du nucelle (ou couche hyaline). Ces tissus sont essentiellement constitués de cellules vides dont les parois sont riches en fibres et en composés phénoliques (Bouneche, 2015).
- L'albumen qui représente 80-85% du grain, constitué de l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules remplis de granules d'amidon dispersés au milieu d'une



matrice protéique et dont les parois cellulose sont peu visibles) et de la couche à aleurone (Clerget, 2011).

- Le germe représente 3% du grain, composé d'un embryon, lui-même formé de la coléoptile, de la gemmule de la radicule, du coleorhize et de la coiffe (Feliét, 2000).

**Figure 4:** Schéma histologique d'une coupe longitudinale d'un grain de blé (Bouneche, 2015).

Le grain est principalement constitué d'amidon environ 70%,de proteines10-15% selon les variété et les conditions de culture et de pontasanes 8-10%,les autres constitutions , pondéralement mineures (quelque % seulement ) sont les lipides la cellulose, les sucres libre les minéraux et les vitamines (tableaux 2) .ces constituants se répartissent de manière inégale au sein des différent fractions histologique du grain .

**Tableaux 2** : composition chimique de grain de blé (Feilliet, 2000).

Nature de composant	Teneur (% ms)
<b>protéines</b>	10-15
<b>Amidon</b>	67-71
<b>pontasanes</b>	8-10
<b>celluloses</b>	2-4
<b>Sucre libre</b>	2-3
<b>lipides</b>	2-3
<b>Matière minérales</b>	1.5-2.5

## **2.4. Condition de germination**

### **2.4.1. Conditions externes de la germination**

La graine exige la réunion de conditions extérieures favorables à savoir l'eau, l'oxygène, la température et la lumière (Soltner, 2007).

- **L'eau**

Selon (Yakoubi, 2014), La germination exige obligatoirement de l'eau, celle-ci doit être apportée à l'état liquide. Elle pénètre par capillarité dans les enveloppes. Elle est remise en solution dans les réserves de la graine, pour être utilisée par l'embryon, et provoque le gonflement de leurs cellules, donc leur division.

- **L'oxygène**

La germination exige obligatoirement de l'oxygène (Soltner, 2007).une faible quantité d'oxygène peut être suffisante pour permettre la germination. D'après Meyer et al. 2004).

L'oxygène est contrôlé par les enveloppes qui constituent une barrière, mais en même temps une réserve.

- **La température**

La température a deux actions Soit directe par l'augmentation de la vitesse des réactions biochimiques. c'est la solution pour laquelle il suffit d'élever la température de quelques degrés pour stimuler la germination (Mazliak, 1982), Soit indirecte par l'effet sur la solubilité de l'oxygène dans l'embryon (Chaussat et al., 1975).

- **La lumière**

La lumière agit de manière différente sur les espèces. Elle inhibe la germination des graines à photosensibilité négative et stimule celles à photosensibilité positive (Anzala, 2006). Les espèces indifférentes à la photosensibilité sont rares (Heller et al., 1990).

#### **2.4.2. Conditions internes de la germination**

Lorsque des graines arrivées a maturité sont placées dans des conditions optimales température, d'humidité et d'oxygénation pour leur croissance et qu'elles ne germent pas, plusieurs causes sont à envisager la dormance de l'embryon ou les inhibitions de germination. les conditions internes de la germination concernent la graine elle-même: elle doit être vivante, mesuré, apte à germer (non dormante) et saine (Jeam et al., 1998).

### **2.5. Physiologie de la germination**

La germination des graines comprends trois principales phases, selon la cinétique de sa prise d'eau et qui sont schématisées dans la figure 5 ci-dessus.

D'après (Heller et al., 2004). Trois phrases se remarquent :

La phase 1 :

Appelée phase d'imbibition, correspondant à une forte hydratation des tissus, accompagnée d'une élévation de l'intensité respiratoire.

La phase 2:

Appelée phase de germination stricto sensu, caractérisée par une stabilisation de l'hydratation et de l'activité respiratoire à un niveau élevé. Durant cette phase la graine peut être réversiblement hydratée et réhydratée sans dommage apparemment Pour sa viabilité.

La phase3 :

Caractérisée par une reprise de l'absorption d'eau et une élévation de la consommation d'oxygène, puis très rapidement, on assiste à une reprise des divisions et agrandissement cellulaire. A ce stade, la déshydratation des tissus cause la mort de la semence, la germination est terminée lorsque la radicule émerge du tégument de la graine.

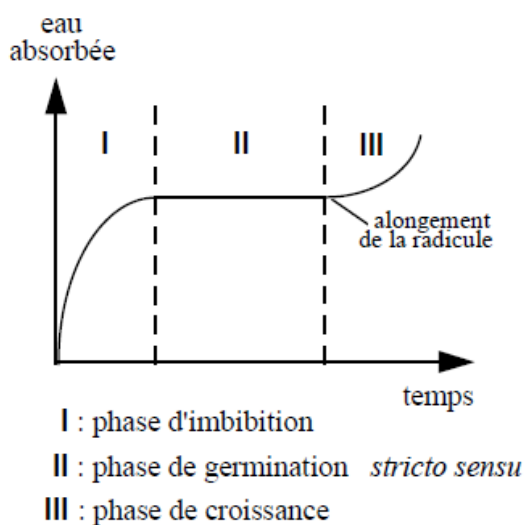


Figure 5: Courbe théorique d'imbibition d'une semence (Côme, 1982).

### 3. Le stress hydrique : les effets et mécanismes d'adaptation

Selon Levitt (1980), le stress désigne l'effet néfaste d'un facteur de l'environnement sur un organisme vivant. D'après Hopkins (2003), il s'agit de toute force ou condition hostile qui tend à empêcher le fonctionnement normal de la plante (croissance, développement et productivité). Ce terme regroupe à la fois les stress biotiques (causés par d'autres organismes vivants) et les stress abiotiques (se présentant à chaque fois qu'il y a un excès ou un déficit dans l'environnement physique ou chimique de la plante).

### ***3.1. Le stress hydrique***

Pour (Boyer, 1982) cité par (Aaisani, 2019), le stress hydrique est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi arides, où les précipitations changent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique.

La demande hydrique d'une plante peut se définir comme la quantité d'eau optimale nécessaire pour sa croissance. La réserve utile pour la plante est la quantité d'eau présente dans le Sol accessible via son système racinaire (Hamon, 2007). Sa demande en eau déterminée par le niveau de transpiration ou d'évapotranspiration qui inclut les pertes en eau au niveau des feuilles mais aussi au niveau de la racine (Hamidou et al., 2005). La plupart des plantes peuvent extraire de 50 à 80% de la réserve utile du sol avant que la transpiration de la plante ne soit affectée (Ricroch et al., 2011). D'autre part, le stress hydrique a été défini comme une baisse de la disponibilité de l'eau, traduisant par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype (Hamon, 2007).

Le manque d'eau ou déficit hydrique représente le stress abiotique le plus sévère auquel la culture du blé dur fait face dans les conditions de productions des zones arides et semi- arides (Chennafi et al, 2006).

Toutefois, le stress hydrique est le plus souvent provoqué par la sécheresse. Le manque d'eau peut se manifester aussi bien dans le sol que dans l'atmosphère (Veselovsky, 1985). Généralement, la sécheresse du sol est lente (Larcher, 1995), mais la diminution de l'humidité de l'air peut parfois être rapide (Yokota et al., 2006).

D'un point de vue physique, le stress hydrique résulte d'un abaissement du potentiel hydrique dans l'air et/ou dans le sol en dessous d'une certaine valeur, dépendant du génotype et des caractéristiques du milieu (type de sol, température, vent) (Lamaze et al., 1994).

### ***3.2. Les effets du stress hydrique sur la germination***

Les stress abiotiques, notamment le stress hydrique, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale. Le déficit hydrique constitue un important facteur limitant pour la production des cultures céréalière dans les zones arides et semi-arides.

L'effet du stress hydrique sur la plante dépendra de son intensité, de sa durée et de son stade de développement. Elle dépend également du génotype et de son interaction avec l'environnement (Yokota *et al.*, 2006 ; Radhouabe, 2014).

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 (Ingram *et al.*, 1996), 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. De plus, la disponibilité des carbohydrates pendant cette phase assure un rôle de protection contre le déficit hydrique (Beck et Ziegler, 1989).

### ***3.3. Mécanismes d'adaptation des plantes à la sécheresse***

Le végétal perçoit constamment son environnement physico-chimique. Ne pouvant se déplacer comme un animal à la recherche des conditions les plus favorables, il rythme et ajuste son développement en fonction de ce qu'il perçoit (Meyer *et al.*, 2008)

Les adaptations des plantes au manque d'eau peuvent être classées principalement en trois grands types de stratégies. L'esquive, l'évitement et la tolérance (Jean-pierre *et al.* 2006).

#### ***3.3.1. La stratégie d'esquive***

D'après (Mathieu, 2014) L'esquive est une adaptation à l'environnement qui permet aux plantes d'éviter les périodes critiques pour leur bon développement. Les agriculteurs utilisent cette stratégie des plantes pour placer le cycle cultural pendant des périodes où les conditions sont favorables.

Il s'agit, par exemple, d'éviter les cultures d'été ou de développer des variétés à cycle de développement plus court dans le but d'éviter les périodes de l'année les plus stressantes pour les plantes. L'esquive ne peut se raisonner qu'à l'échelle de l'exploitation agricole et des systèmes de culture.

### **3.3.2. La stratégie d'évitement**

L'évitement permet aux plantes de limiter les effets du stress, grâce à des adaptations comme le flétrissement, ou encore l'enroulement des feuilles. Cette stratégie permet la survie au dépend de la productivité.

Les mécanismes d'évitement sont deux types morphologiques et physiologiques :

#### **a) Mécanismes morphologique**

##### **➤ Réduction de la condition somatique (Benhamou, 2009)**

La réduction de la perte en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress hydrique. Si la fermeture des stomates permet à la plante de réduire la sortie d'eau, elle limite aussi l'entrée de  $CO_2$ . Cette diminution de la transpiration peut engendrer une réduction de la photosynthèse. La régulation de la conductance stomatique reste le mécanisme majeur intervenant à court terme pour limiter les pertes d'eau: le potentiel hydrique foliaire sera maintenu d'autant plus longtemps que la fermeture des stomates est précoce. (Maury et al., 2011). (Hopkinsw, 2003)

##### **➤ Réduction de la croissance foliaire**

Une réduction de la croissance foliaire est bénéfique aux plantes soumises à un stress hydrique, puisque la surface des feuilles est diminuée et la transpiration réduite. Une perte de Habituellement, l'effet exercé par un potentiel hydrique faible est attribué que la turgescence des cellules des zones en croissance (Nabors, 2008). Du fait grandissement cellulaire intervenait suite à une entrée d'eau qui, après la relaxation du stress de la paroi cellulaire, provoquait la pleine turgescence des cellules, donc un apport réduit de l'eau se traduit par la réduction de la croissance (Hopkinsw, 2003).

➤ **Développement racinaire accru**

L'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou, plus exactement, de retarder la déshydratation de ses tissus (Turner et al., 2001). L'augmentation de l'absorption peut être due à l'extension de l'absorption en profondeur et en surface, à la vitesse de croissance et de ramification des racines (Laurent et Santé, 2007).

**b) mécanisme physiologique**

Au niveau cellulaire, la réduction du module d'élasticité permet aux cellules de conserver un potentiel élevé malgré un dessèchement important (Tardieu et al., 2006). L'ajustement osmotique par accumulation de soluté dans la vacuole et la réduction de la taille des cellules permettent, pour une même teneur en eau, une diminution du potentiel foliaire et donc un maintien d'un gradient de potentiel hydrique important du sol vers la feuille (Laurent et Sané, 2007). Ce mécanisme tient à la fois de l'évitement et de la tolérance (Jean-pierre et al., 2006).

**3.3.3. La stratégie de tolérance**

Elle permet à la plante d'assurer normalement ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique interne consécutive à la sécheresse. Sur le plan agronomique où la préservation de l'état productif est primordiale dans le mécanisme d'adaptation à la sécheresse, seuls les mécanismes d'esquive et de maintien de l'absorption d'eau présentent un intérêt (Mathieu, 2014).

**4. Le stress salin : les effets et mécanisme d'adaptation**

**4.1. Le stress salin**

Le stress salin est défini comme une concentration excessive en sel. Le terme stress salin s'applique surtout à un excès des ions, en particulier  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  (Hopkins, 2003). Il l'est l'une des contraintes abiotiques les plus importantes et les plus limitantes en terme de productivité agricole à l'échelle planétaire, en particulier dans les climats aride et semi-aride (Djerah et Oudjehih, 2015).

L'excès d'ions salins dans la solution du sol génère à la fois une pression osmotique élevée et une accumulation d'ions devenant toxiques dans les feuilles notamment celle du  $\text{Na}^+$ . Ceci



a comme conséquence une réduction de la croissance et de la production des cultures due à une perturbation de plusieurs processus morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires (Kpinkoun et al., 2019).

Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient en fonction du type de salinité, de la concentration du sel, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (Levigneron et al., 1995). Certaines espèces telles que l'orge, le blé, le sorgho, la betterave et le tournesol se montrent plus sensibles au stade juvénile qu'au stade plante adulte (Munns et al., 2006). Mais cela ne s'avère pas être le cas pour toutes les espèces végétales.

#### ***4.2 .l'effet du stress salin 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 (Ouhaddach, 2016).

Une salinité élevée entraîne une inhibition de la germination des semences par osmose ou par toxicité spécifique (Ouhaddach, 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 Na<sup>+</sup>) 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.

### ***4.3 Mécanismes d'adaptation au stress salin***

Selon Rejili et al., (2006), les semences répondent au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées et en accusant un retard dans l'initiation du processus de la germination. Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal.

Ikram et hayat (2018) ont mentionné dans leur mémoire, qu'il existe des stratégies d'adaptation communes au stress salin qui font appel à des modifications plutôt d'ordre physique : réduction de l'hydratation cellulaire, réduction du volume cellulaire, modification du module d'élasticité des parois cellulaires 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).

Selon (CHRETIEN ,1992), le métabolisme de la plante dans les milieux fortement salés est lié :

- à une résistance de la plante à la déshydratation.
- à une adaptation de son potentiel osmotique afin de rétablir les relations hydriques.
- à une alimentation en eau convenable.
- à un contrôle efficace des flux ioniques intracellulaire et intra tissulaire.

# **Chapitre II:**

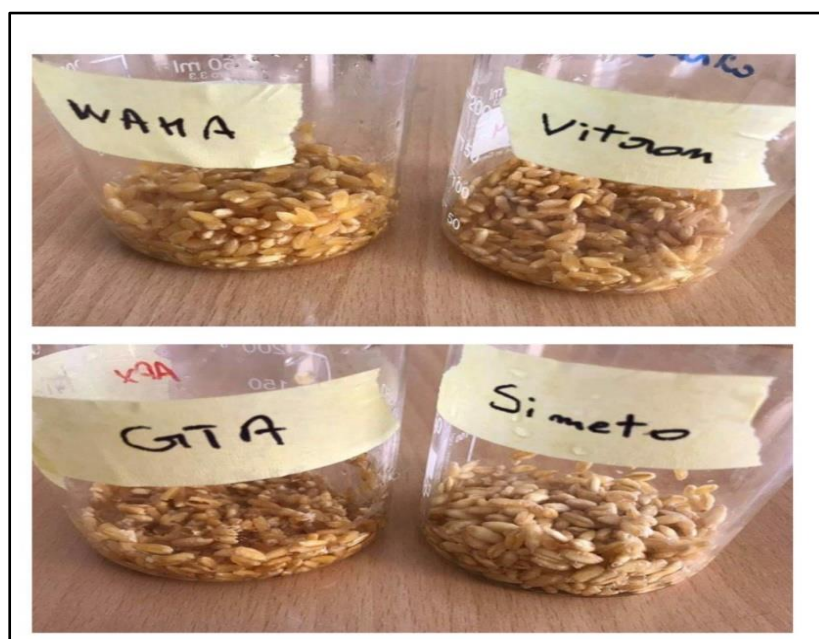
## **Matériel et méthodes**

**1-Matériel végétale**

Le matériel végétale utiliser dans cette étude est composé de quatre variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*) .Elles ont été gracieusement fournies par l’Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) (station El Khroub de Constantine). Leurs pédigrées et l’origine décrit dans le tableau ci-dessus (tableau 3) :

**Tableau 3** : les variété étudiée et leurs pedigrees et origines.

Variété	Pédigrée	ORIGINE
WAHA	Plc/Ruff//Gta/3/Rolette CM 17904	Cimmyt-Icard
VITRON	TURCHIA77/3/JORI(SIB)/ (SIB) ANHINGA//(SIB) FLAMINGO	Espagne
GTA DUR	Crane/4/PolonicumPI185309//T.glutin en/2* Tc60/3/Gll	Mexique
SIMETO	Capeiti8/Valvona	Italie



**Figure 6**: Photographie des graines des quatre variétés de blé utilisé dans l’étude.

## **2. Mise en place de l'essai**

L'expérimentation a été conduite au laboratoire de Génétique Biochimie et de Biotechnologie Végétale (GBBV) (équipe IV : Physiologie Moléculaire et Biodiversité des Plantes) à Chaabat EL Rasses, Université Frères Mentouri Constantine1.

## **3. Le plan expérimental**

Notre étude consiste à analyser l'effet des contraintes hydriques et salines sur la germination de quatre variétés de blé dur. Le stress salin a été appliqué en appliquant un traitement de NaCl dont la concentration est : 200mM. Tandis que le polyéthylène glycol (PEG-6000) a été utilisé afin de simuler un stress hydrique avec une concentration de 20%.

Les graines des quatre génotypes ont été stérilisées et désinfectées à l'aide d'une solution d'eau de javel (hypochlorite de sodium à 5%) pendant 15 minutes puis rincées trois fois à l'eau distillée pour éliminer toute trace de chlore.

Les graines sont ensuite mises dans des boîtes de pétri tapissées de deux couches de papier absorbant humecté au milieu BD (Tableau 4) pour les témoins et de la solution de PEG-6000 appropriée 20%, et traitement de NaCl 200 mM. À raison de 15 graines par boîte en réalisant trois répétitions par génotype ,4 ml de chaque solution ont été ajoutés à chaque boîte de Pétri, chaque 48 h pour une durée de huit jours (figure 7).

Les boîtes sont mises à l'obscurité et à une température de 27°C. La germination est repérée par la sortie de la radicule hors des téguments de la graine dont la longueur est d'au moins de 2 mm.

Les différentes mesures ont été appliquées sur le coléoptile des différents génotypes et pour les différents traitements.



Figure 7 : Dispositif utilisé pour la germination.

Tableau 4: Composition de solution nutritive de Broughton et Dillworth (BD).

Solution mères			Pour 100 ml	Volume à prélever
1) CaCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O	2M	294 g/l	29.4 g	5ml/10L
2) KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1M	136 g/l	13.6 g	5ml/10L
3) MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0.5M	123 g/l	12.3g	5ml/10L
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5M	87 g/l	8.7g/l	
MnSO <sub>4</sub>	2mM	0.34 g/l	0.034g/l	
4) Fe, EDTA	195mM	7.34 g/l	0.743g	12.5ml/l
5) Oligoélément			Pour 500 ml	5ml/10L
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	4 mM	0.247 g/l	0.247 g/l	
MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	1 mM	0.288 g/l	0.288 g/l	
CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O	0.4 mM	0.100 g/l	0.100 g/l	
CoSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0.2 Mm	0.056 g/l	0.056 g/l	
NaMoO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	0.2 mM	0.048g/l	0.048 g/l	

❖ Ces volumes sont valables pour préparation de 5L du milieu BD.

#### **4. Paramètres étudiés**

##### **4.1. Taux de germination final (G, %)**

Ce paramètre permet d'analyser la capacité germinative des génotypes de blé dur étudiés. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur le nombre total de graines, soit le pourcentage définitif de germination (G%). Une graine est considérée comme germée lorsqu'elle sa radicule est visible après avoir percée des téguments.

Il est déterminé par la formule de Côme (1970):  $G (\%) = 100(NGG / NTG)$

**G (%)** représente le pourcentage de germination;

**NGG** représente le nombre de graines germées ;

**NTG** représente le nombre total de graines incubées.

##### **4.2. 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'osmotiques utilisés pour imposer le stress. Elle est exprimée par le nombre de graines germées à 24, 48, 72 h après le début de l'expérience.

##### **4.3. Germination moyenne journalière (MDG, %)**

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.**

### **5. Extraction et dosage de la proline ( $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ )**

Elle est déterminée selon la méthode Troll et Lindsley (1955), modifiée par Monneveux Nemmar (1986).

-Prendre 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essai contenant 2 ml de méthanol à 40%. Le tout est chauffé à 85°C dans un bain-Marie pendant 60mn. (Les tubes sont recouverts de papier aluminium pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool.) Après refroidissement ; on prélève 1ml d'extrait auquel il faut Ajouter :

- **1 ml d'acide acétique ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ;**
  - **25 mg de ninhydrine ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$ ) ;**
  - **1 ml de mélange contenant :**
    - **120 ml d'eau distillée ;**
    - **300 ml d'acide acétique ;**
    - **80 ml d'acide orthophosphorique ( $\text{H}_3\text{PO}_4.d=1.7$ ).**
- La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30 mn à 100°C,
- la solution vire au rouge, après refroidissement, 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée, deux phases se séparent (une phase supérieure à la couleur rouge contient la proline et une phase inférieure transparente sans proline).

Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure est récupérée est déshydratée par l'ajout d'une spatule de Sulfate de Sodium  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhydre (pour éliminer l'eau qu'elle contient). On détermine la densité optique (Do) à l'aide d'un spectrophotomètre (type 20D) sur une longueur d'onde de 528nm.





**Figure 8:** Photographie de proline extrait des quatre variétés étudiée.

## 6. Extraction et Dosage spectrométrique des sucres totaux

Le dosage des sucres solubles est réalisé selon la méthode de Dubois *et al.*, (1956).

- On pèse 100 mg de feuilles, les mettre dans des tubes à essai,
- Ajouter 3 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres,
- Puis les laisser à température ambiante et à l'obscurité pendant 48 heures.

Ensuite, les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'éthanol. Une fois évaporé, on ajoute dans chaque tube 20 ml d'eau distillée à l'extrait (solution à analyser).

Au moment du dosage, on dépose dans des tubes en verre 2 ml de solution à analyser (de l'échantillon), puis on ajoute 1 ml de phénol à 5%, suivie directement de 5 ml d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentré à 96 %. On obtient une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la solution. On laisse les tubes pendant 10 min à l'obscurité et à température ambiante et on les place ensuite au bain-marie durant 10 à 20 min à une température de 30°C.

A ce moment, l'absorbance est lue à une longueur d'onde de 485 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Les concentrations sont déterminées à partir d'un courbe étalon.

## **Chapitre III :**

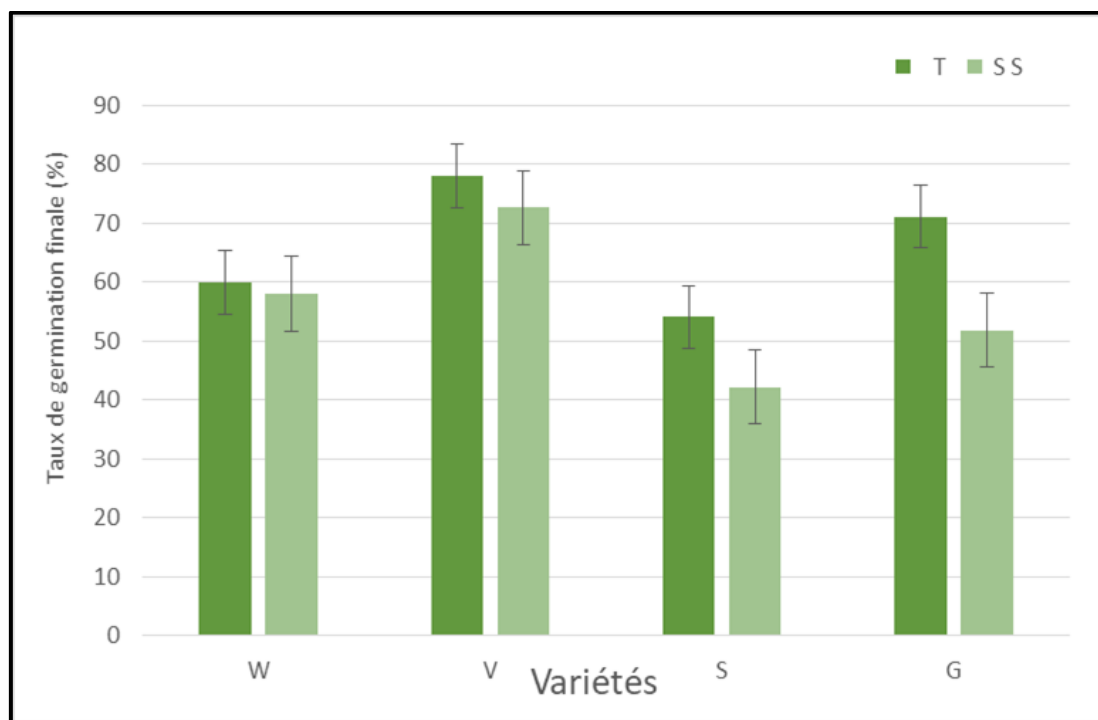
### **Résultats et discussion**

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

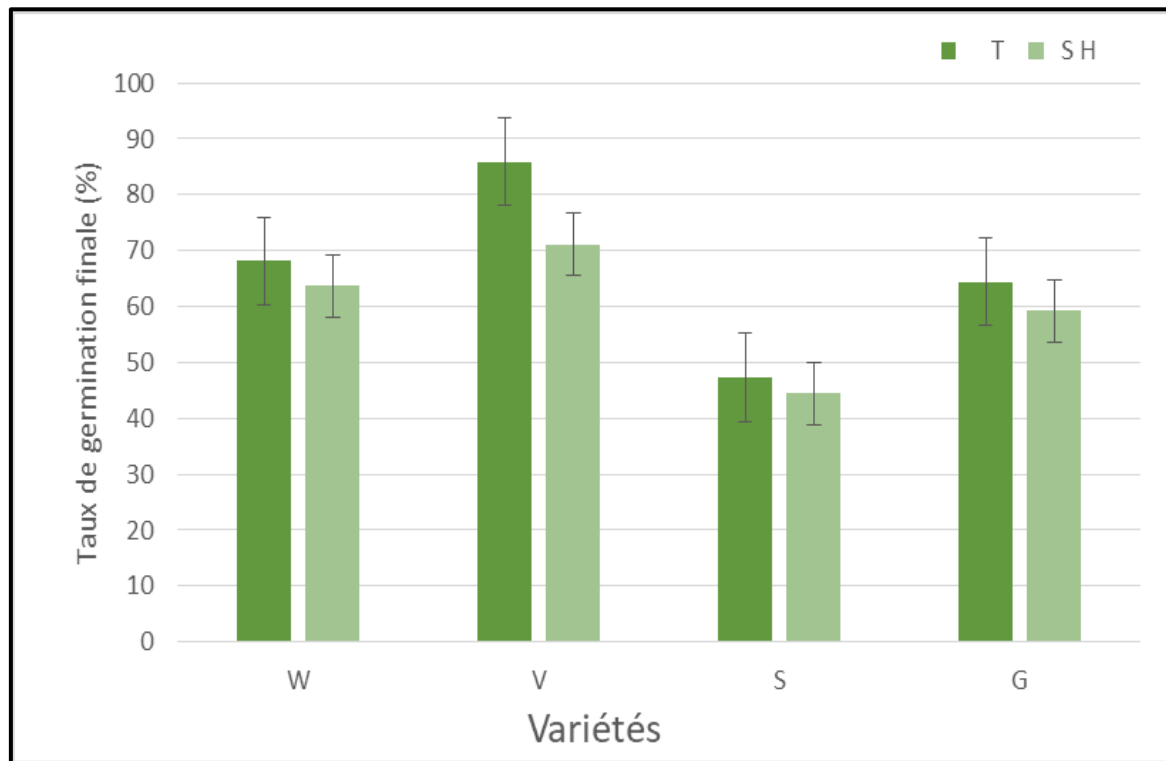
### 1.1. Variation des taux de germination finale (G, %)

**Taux de germination finale:** ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration saline et hydrique qui présente la limite physiologique de germination des graines.

Le taux de germination est rapporté des figures 9 et 10. Les résultats indiquent que le pourcentage de germination des quatre variétés de blé dur étudiées est variable en fonction du type de stress appliqué, et de la variété elle-même.



**Figure 9 :** Représentation en histogramme des taux moyen de germination finale sous stress salin (NaCl) chez les quatre variétés de blé dur étudiées. Les valeurs constituent les moyennes  $\pm$  écarts types (n=3).



**Figure 10:** Représentation en histogramme des taux moyen de germination finale sous stress hydrique (PEG-6000) chez les quatre variétés de blé dur étudiées. Les valeurs constituent les moyennes  $\pm$  écarts types (n=3).

Globalement, en absence de stress l'ensemble des graines testées ont germé, les génotypes qui représentés les meilleures valeurs de taux de germination avec un taux maximum atteignant les 85.92% chez la variété Vitron et un taux minimum de 54.07% chez la variété Simeto.

En condition de stress salin, le taux de germination reste assez élevé avec des valeurs aux alentours de 72.59% pour la variété Vitron et une valeur minimum de 42.22% pour la variété Simeto

Suite à une exposition à un stress sévère de PEG-6000, les valeurs observées varient entre un taux maximal de 71.11% pour la variété Vitron et un taux minimal de 44.44 % pour la variété Simeto.

Les résultats obtenus dans cet essai montrent d'une façon globale que le pouvoir germinatif des graines diminue sous les conditions de stress appliqués soit pour NaCl ou le PEG-6000 ces résultats confirment les conclusions retenues par les travaux de Benderaddji et al., 2016.

Cette diminution du pouvoir germinatif devienne plus importante sous stress hydrique. En effet la présence du PEG-6000 ou du NaCl dans le milieu diminue et ralentie l'absorption de

l'eau par les graines et par conséquent diminue l'activité enzymatique au niveau de ces dernières avec une Déshydratation de l'embryon, arrêt de la division cellulaire et de la germination elle-même (Ndour et Danthu., 1998 ; Almansouri et al., 2001 ; Khayatnezhad et Gholamin., 2011).

Plusieurs auteurs indiquent que la variabilité génotypique enregistrée de la germination est souvent sous le contrôle de facteurs génotypiques et environnementaux.

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

*Cinétique de germination:* pour mieux appréhender la signification physiologique du comportement germinatif des variétés étudiés, le nombre de graines germées a été compté quotidiennement jusqu'au 7<sup>ème</sup> jour de l'expérience.

Les concentrations de NaCl et de PEG-6000 exercent un effet sur l'évolution du Taux de germination des quatre génotypes au cours du temps. D'après les cinétiques de germination, on constate que les stress salin et hydrique ont provoqué une augmentation du temps nécessaire pour la germination chez le lot de graines testées.

En condition standard, les quatre génotypes ont enregistré un taux maximal après seulement 2 jours d'incubation. L'application du stress, a par contre, rallongé le temps de germination. Une durée qui varie en fonction du génotype et de le stress appliqué soit NaCl ou de PEG-6000, mais en étant toujours plus longues chez la variété Simito.

Les résultats qui concernent la variété Waha, Vitron et GTA montrent qu'un stress de NaCl ou de PEG-6000 va faire en sorte que le taux maximal soit atteint au 3<sup>ème</sup> jour (**Figure 11,12 et 14**). Tandis que les stressé au PEG on constate une stagnation des taux au 2<sup>ème</sup> jour chez les quatre variétés (**Figure 11, 12,13 et 14**).

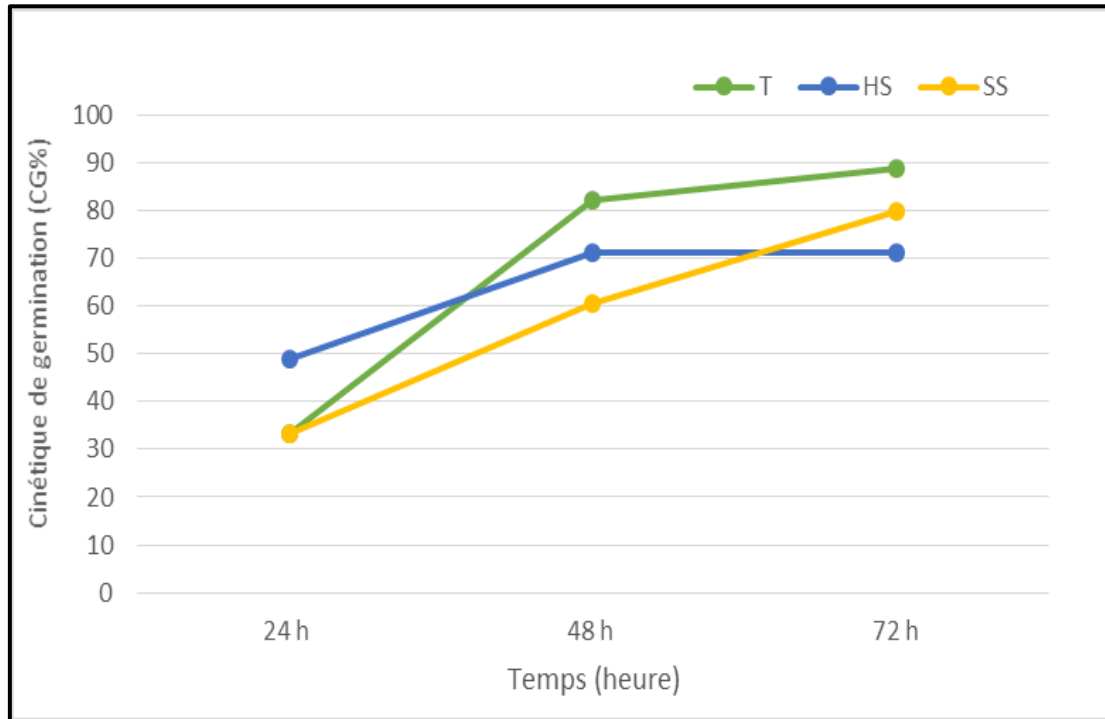


Figure11 : courbe de la cinétique de génotype Waha.

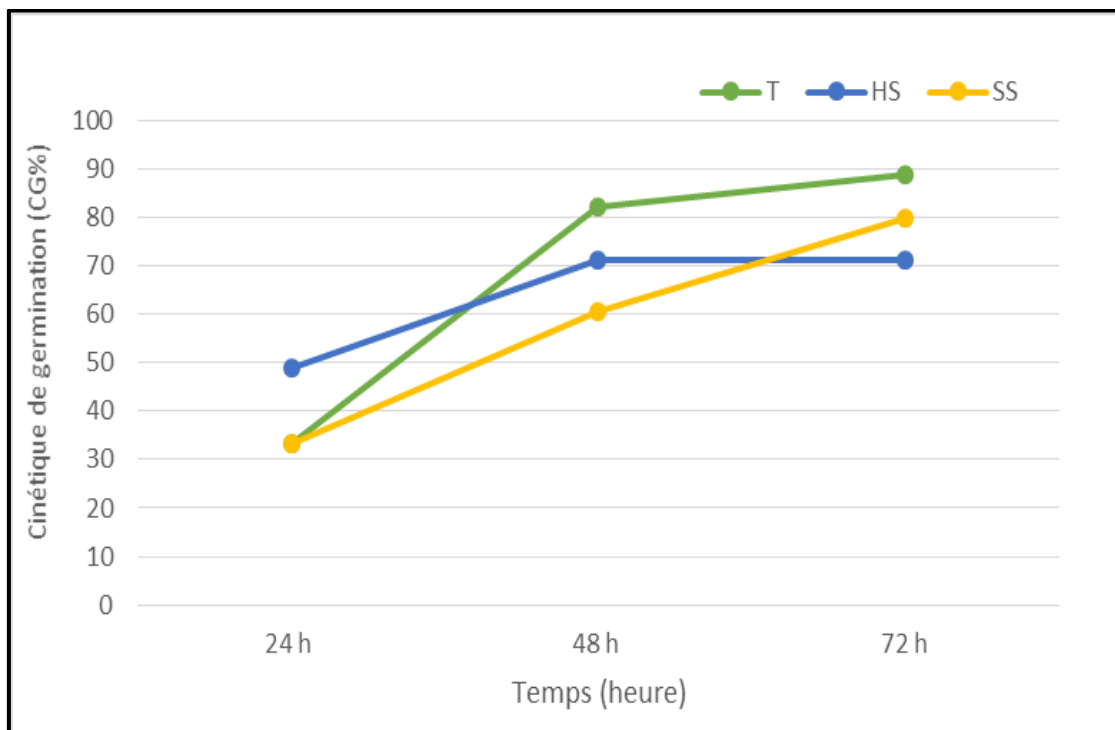


Figure12 : courbe de la cinétique de germination du génotype Vitron.

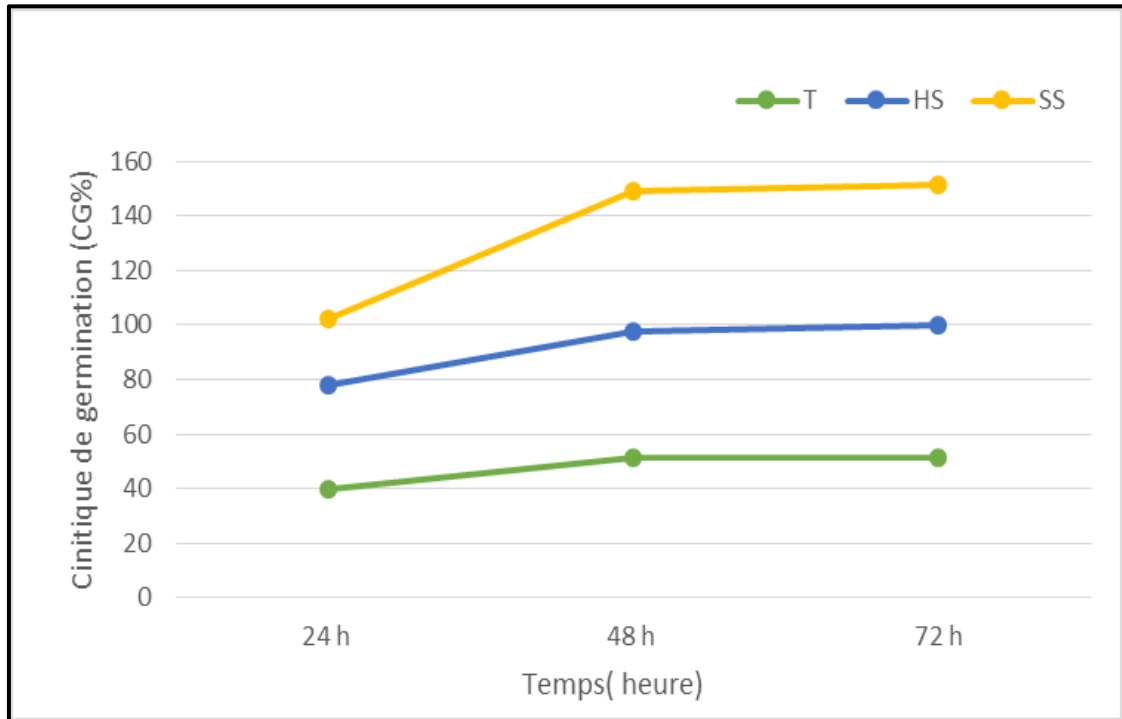


Figure13 : courbes de la cinétique de germination du génotype Simeto.

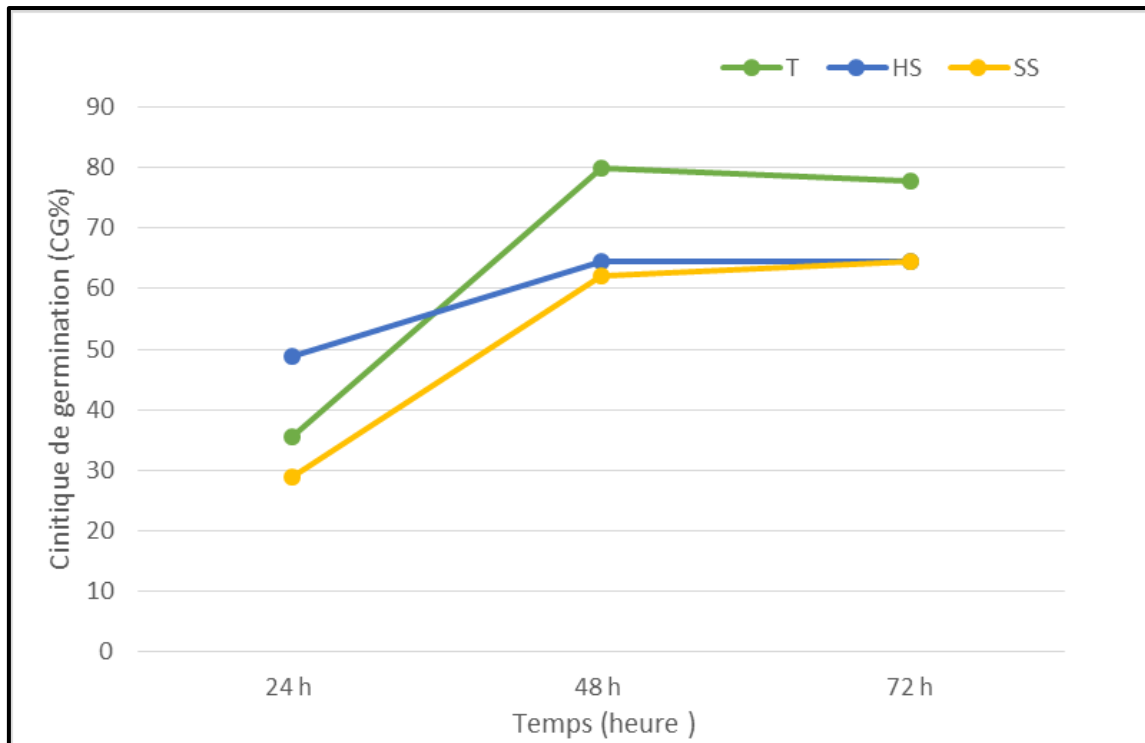


Figure14 : courbe de la cinétique de germination du génotype GTA dur.

Les résultats enregistrés dans le cas de notre étude sont en accord avec les observations retenus chez le blé par d'autres auteurs. Ces observations confirment l'effet agressif de la salinité et le stress hydrique du milieu sur toutes les phases de croissance et de développement des plantes en particulier la phase de germination en raison de la réduction de l'absorption d'eau par les graines (Sayar et al., 2010).

En effet, la réduction de l'absorption d'eau est d'une part, sous le contrôle de la durée nécessaire de l'imbibition des graines pour la mise en place des mécanismes physiologiques de l'ajustement osmotique interne (Ben Miled et al., 1986) et d'autre part par la perturbation et même la dégradation des enzymes et des hormones en conditions de stress salin (Ghrib et al., 2011)

### ***1.3. Variation de la germination moyenne journalière (MDG, %)***

L'examen des résultats dans le tableau ci-dessous indique un retard de la germination des graines ainsi qu'une diminution de la moyenne de germination journalière ; et ceux pour les quatre génotypes testés. On remarque qu'en condition contrôle, le taux moyen de germination journalière atteint les 17.18 % chez la variété Vitron, et taux minimal 9.48% chez la variété Simeto.

On présence de PEG-6000, la germination moyenne journalière baisse pour atteindre des taux minimal respectif de 8.88 % pour la variété Simeto, et le taux maximal respectif de 14.22% chez Vitron.

Alors que pour la NaCl, On remarque la même chose que les témoins et les stress hydrique une diminution de la moyenne de germination journalière qui atteint les 14.51% pour la variété Vitron, et taux minimal 8.44 % chez Simeto.

**Tableau 5** : Germination moyenne journalière des quatre gynotypes.

	<b>S.Temoin</b>	<b>S.PEG</b>	<b>S.NaCl</b>
<b>WAHA</b>	13.63	12.74	11.59
<b>VITRON</b>	17.18	14.22	14.51
<b>SIMITO</b>	9.48	8.88	8.44
<b>GTA</b>	12.88	11.85	10.37



D'après Bliss et al., (1986), le retard de germination des graines se fait en fonction de la concentration de l'osmoticum utilisé et est couplé avec la diminution de la moyenne de germination journalière.

Cette réduction serait due au temps que va prendre chaque génotype pour ajuster la pression osmotique interne de ses tissus. De nombreux travaux mettent en évidence une telle diminution chez des variétés de blé dur soumises à différents niveaux de stress salin (Khan et Balz, 2018) et chez le Pin de Calabre en condition de stress hydrique (Boydak et al., 2003).

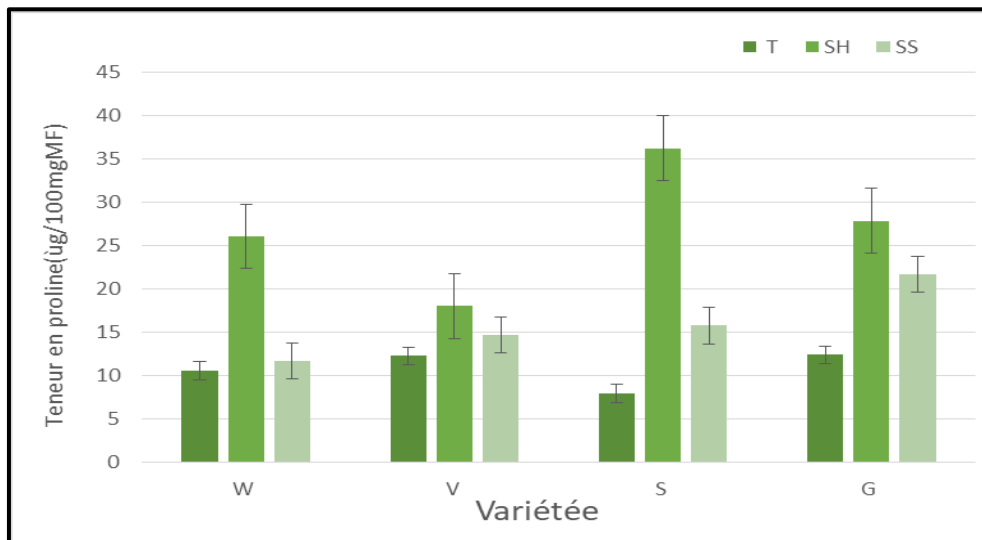
## **2. Evolution des teneurs en proline ( $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ )**

Les fonctions métaboliques des plantes se trouvent souvent perturbées en conditions de stress salin et hydrique et notamment le métabolisme des acides aminés libres dont la proline constitue ; pour de nombreuses espèces l'élément principal de modification. Les quantités accumulées ont tendance à augmenter avec l'intensité des stress imposés.

Les résultats illustrés dans l'histogramme ci-dessous (**Figures 15**) indiquent que les teneurs en proline sont plus élevées et représente les meilleures valeurs chez la variété Simito en conditions de stress hydrique  $36.23 \mu\text{g}/100\text{mgMF}$ , et chez la variété GTA dur en condition de stress salin  $21.71 \mu\text{g}/100\text{mgMF}$ .

Et la minimum valeur est représenté chez la variété Vitron  $18.06 \mu\text{g}/100\text{mgMF}$  en condition de stress hydrique, pour le stress salin, la minimum valeur est marqué chez la variété Waha avec un taux de  $11.71 \mu\text{g}/100\text{mgMF}$ .

En effet, en absence de stress on remarque des taux faibles de proline avec  $7.796 \mu\text{g}/100\text{mgMF}$  chez Simito, et valeur maximum de  $10.60 \mu\text{g}/100\text{mgMF}$  chez Waha.



**Figure 15** : Variation de la teneur en proline solubles sous différentes stress (salin et hydrique) chez les quatre variétés de blé dur étudiées après une semaine d'exposition.

D'après l'analyse de la variance effectuée sur les deux facteurs (traitement, génotype) et d'après l'analyse de leur interaction on constate l'existence d'un effet traitement très hautement significatif ainsi qu'un effet génotype et un effet interaction significative sous conditions de stress salin (NaCl). Pour le stress hydrique (PEG-6000) l'effet génotype et l'effet interaction est hautement significatif. Quant à l'effet traitement il s'est révélé très hautement significatif (**Tableau 6 et 7**).

**Tableau 6** : Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur en proline (Pro) des variétés de blé dur testées de PEG-6000.

Source	Somme des carrés de type III	Ddl	Carré moyen	F	Signification
Modèle corrigé	2120,777 <sup>a</sup>	7	302,968	55,546	0.0001
Constante	8603,685	1	8603,685	1577,4	0.0001
TRAITEMENT	1581,614	1	1581,614	289,973	0.0001
VARIETE	155,495	3	51,832	9,503	0,001
TRAITEMENT * VARIETE	383,668	3	127,889	23,447	0.0001

a. R-deux = ,960 (R-deux ajusté = ,943)

**tableau7:** Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur en proline (Pro) des quatre variétés de blé dur testées de NaCl.

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Modèle corrigé	356,759 <sup>a</sup>	7	50,966	10,938	0.0001
Constante	4308,1	1	4308,1	924,587	0.0001
TRAITEMENT	160,012	1	160,012	34,341	0.0001
VARIETE	124,45	3	41,483	8,903	0,001
TRAITEMENT * VARIETE	72,297	3	24,099	5,172	0,011

R-deux = ,827 (R-deux ajusté = ,752)

L'accumulation de la proline semble être un indice de résistance non seulement au stress salin mais également au stress hydrique (Djahra et al., 2015).

Cette capacité d'accumulation change d'une espèce à l'autre et selon l'intensité du stress (Delauney et Verma, 1993). Selon Wilfred (2005), la capacité d'accumulation de la proline chez les plantes est un facteur variétal, permettant de garder la turgescence et le volume cytosolique aussi élevé que possible. Cet acide aminé induit en conditions limitantes, peut être le résultat de trois processus complémentaires : stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines (Tahri et al., 1988).

Le rôle de la proline dans la résistance au stress salin n'est pas encore élucidé. Il peut agir comme un osmoticum dont l'accumulation cytoplasmique permet de neutraliser les effets ioniques et osmotiques de la compartimentation du sel dans la vacuole. Selon un autre point de vue, ce phénomène n'est pas une réaction d'adaptation au stress, mais plutôt le signe d'une perturbation métabolique (Nasri, 2014).

Globalement, l'augmentation des teneurs de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et notamment le blé dans différentes situations de salinité et/ou de

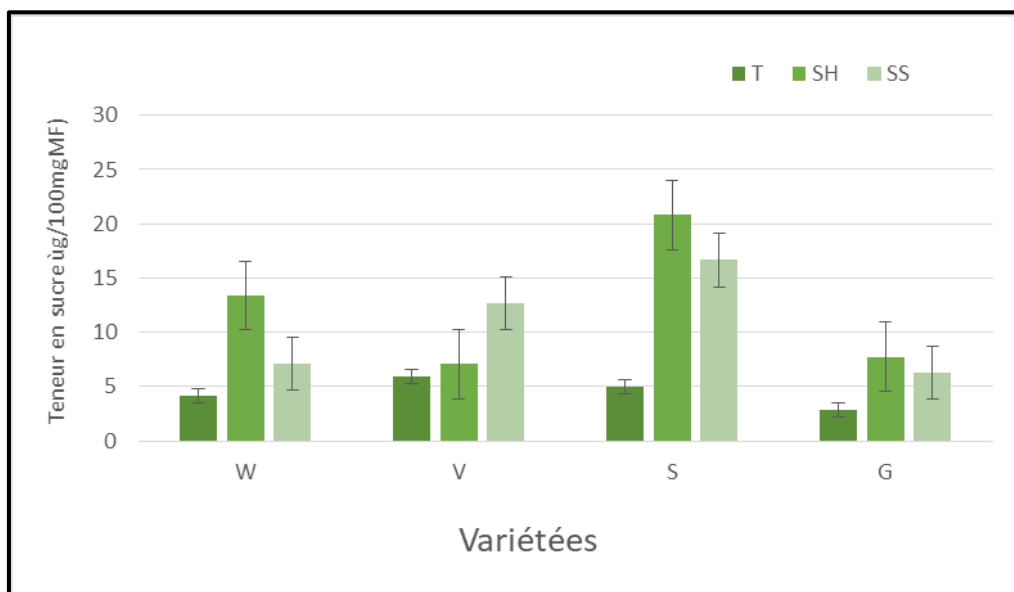
sécheresse (Denden et al., 2005 ; Brahimi, 2017 ; Nouri 2002). Et la présence de ce soluté compatible est souvent corrélée avec la capacité des plantes à survivre en condition de stress.

### 3. Evolution des teneurs en sucres solubles ( $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ )

Sous conditions contrôle, les valeurs rapportées tournent aux alentours de  $2.83 \mu\text{g}/100\text{mgMF}$  comme valeur minimum pour la variété GTA et de  $5.97\mu\text{g}/100\text{mgMF}$  comme valeur maximum pour la variété VITRON.

Un stress hydrique plus marqué que le stress salin chez la variété SIMITO, valeurs enregistrées sont de l'ordre de  $20.84\mu\text{g}/100\text{mg MF}$  et de  $16.65\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ .

Et des valeurs minimales marquées dans le stress hydrique chez la variété vitron  $7.10\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ , et  $6.34\mu\text{g}/100\text{mg MF}$  chez la variété GTA sous le stress salin.



**Figure 16** : Variation de la teneur en sucre solubles sous différentes stress (salin et hydrique) chez les quatre variétés de blé dur étudiées après une semaine d'exposition.

L'analyse de la variance à deux critères de classification montre que ce paramètre diffère de manière très hautement significativement ( $P < 0,001$ ) pour les deux facteurs ainsi que pour leur interaction en présence de PEG-6000 (Tableaux 8 et 9) entre les quatre variétés étudiées. Pour le traitement au NaCl, l'analyse révèle un effet traitement très hautement significatif ainsi qu'un effet génotype et interaction génotype x traitement significative.

**Tableau 8 :** Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur en sucre (suc) des variétés de blé dur testées de PEG-6000.

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Modèle corrigé	745,260 <sup>a</sup>	7	106,466	27,314	0.0001
Constante	1683,878	1	1683,878	432,01	0.0001
TRAITEMENT	363,404	1	363,404	93,234	0.0001
VARIETE	202,335	3	67,445	17,303	0.0001
TRAITEMENT * VARIETE	179,521	3	59,84	15,352	0.0001

R-deux = ,923 (R-deux ajusté = ,889)

**Tableau 9 :** Carrés moyens de l'analyse de variance de la teneur en sucre (suc) des variétés de blé dur testées de NaCl.

Source	Somme des carrés de type III	Ddl	Carré moyen	F	Signification
Modèle corrigé	460,282 <sup>a</sup>	7	65,755	17,377	0.0001
Constante	1383,505	1	1383,505	365,629	0.0001
TRAITEMENT	231,757	1	231,757	61,248	0.0001
VARIETE	157,045	3	52,348	13,834	0.0001
TRAITEMENT * VARIETE	71,479	3	23,826	6,297	0,005

R-deux = ,884 (R-deux ajusté = ,833)

Les résultats enregistrés dans le cas de notre étude sont en accord avec les observations retenus chez le blé par d'autres auteurs. Ces observations confirment l'effet agressif de la salinité et le stress hydrique du milieu sur toutes les phases de croissance et de développement des plantes en particulier la phase de germination en raison de la réduction de l'absorption d'eau par les graines (Sayar et al., 2010).

En effet, la réduction de l'absorption d'eau est d'une part, sous le contrôle de la durée nécessaire de l'imbibition des graines pour la mise en place des mécanismes physiologiques de l'ajustement osmotique interne (Ben Miled et al., 1986) et d'autre part par la perturbation et même la dégradation des enzymes et des hormones en conditions de stress salin (Ghrib et al., 2011).

De même et afin de se protéger contre les effets néfastes des contraintes environnementales biotiques et abiotiques les plantes développent des mécanismes physiologiques d'adaptation et de résistance à ces contraintes. Selon Tahri et al., (1997 et Benderradji et al., (2016), l'accumulation des sucres solubles est considérée comme l'un des mécanismes les plus adoptés par la plante dans les conditions de stress. En effet, l'accumulation des sucres solubles, sous divers conditions de stress salin et stress hydrique était enregistrée chez de nombreuses variétés de blé dur et tendre (Slama, 2002 ; Benkadour, 2014 ; Benderradji et al., 2016 ; Brahim, 2017).

Cette accumulation des sucres solubles en conditions de stress joue un rôle d'osmorégulateur important pour l'ajustement osmotique et le maintien de l'intégrité membranaire (Mefti et al., 1998 ; Slama, 2002 ; Munns et al., 2006). Plusieurs travaux indiquent aussi que l'accumulation des sucres solubles permet la protection des biomembranes contre la déshydratation (Hireche, 2006).

# **Conclusion et perspectives**

Dans le cadre de ce travail nous avons pour objectif d'évaluer et de comparer le comportement de quatre variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.), WAHA, VITRON, SIMITO et GTA soumises à un stress salin provoqué par l' NaCl et un stress hydrique provoqué par le PEG-6000 au stade germinatif.

Ceci en se basant, tout d'abord, sur des paramètres de germinations, puis sur deux paramètres biochimiques. L'étude de la réponse aux stress salin et hydrique chez les quatre variétés testées, révèle que les deux contraintes affectent l'ensemble des paramètres mesurés.

Selon l'analyse des variables étudiées :

- ✓ La Variation des taux de germination finale, montre que les génotypes simito, vitron et Waha paraissent plus résistants au stress hydrique que GTA, Cependant les génotypes Vitron, GTA et WAHA démontrent plus de résistance que Vitron au stress salin.
- ✓ La comparaison de la cinétique de germination entre les quatre variétés de blé dur, montre que le stress hydrique imposé par le PEG et le stress salin par l'NaCl, ont provoqué un ralentissement de la germination plus important pour Simito.
- ✓ La germination moyenne journalière, quant à elle, a exprimé une baisse aussi bien pour la variété Vitron que pour les autres variétés.
- ✓ L'évolution de la teneur en proline la plus élevée a été observé chez la variété GTA soumise au stress salin, et chez la variété Simito celle-ci soumise au stress hydrique.
- ✓ L'évolution de la teneur en sucre : une forte accumulation du sucre chez la variété Simito soumise au stress hydrique, et Vitron sous le stress salin.

En conclusion, l'étude a montré que les quatre variétés étudiées ont utilisé des stratégies de tolérance assez similaires, mais la différence réside au niveau des taux de synthèse des marqueurs biochimiques étudiés.



### ***Perspectives***

Les résultats obtenus laissent entrevoir de nombreuses perspectives qui nécessitent des études plus approfondies, à savoir :

- Cette étude devrait être complétée par des expérimentations similaires sur le champ afin de vérifier le degré de tolérance des variétés étudiées en conditions réelles.
- D'élargir l'étude sur plusieurs stades et cycle de développement de la plante.
- Elargir l'étude en comparant plus de variétés de blé dur.
- L'utilisation d'autres paramètres biochimique et physiologiques comme critères de sélection et d'amélioration des plantes.
- Appliquer l'étude sur d'autres types de stress et/ou contraintes biotiques et abiotiques afin de cerner à mieux la problématique proposée.
- Viser l'aspect moléculaire de la tolérance au stress salin et hydrique, en réalisant une électrophorèse bidimensionnelle des protéines induites chez les plantes stressées. Ou encore en réalisant une PCR quantitative de quelques gènes impliqués dans les mécanismes de biosynthèse des osmolytes ou des gènes codants pour des protéines impliquées dans la protection des structures cellulaires chez le blé dur.

# **Références bibliographie**

1. **Abis, S. (2012).** Le blé en méditerranée. Sociétés, commerce et stratégies. Economie et territoire/relations commerciales. 241-247pp.
2. **Almansouri, M., Kinet, J. M., & Lutts, S. (2001).** Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and soil*, 231(2), 243-254.
3. **Anne-laure, B. (2007)** .Etude de l'effet de composés du grain de blé dur sur la régulation de la voie de biosynthèse des trichothécènes B : purification de composés inhibiteurs, analyse des mécanismes impliqués. Thèse de doctorat. L'université bordeaux 1.2pp
4. **Beck, E., & Ziegler, P. (1989).** Biosynthesis and degradation of starch in higher plants. *Annual review of plant biology*, 40(1), 95-117.
5. **Ben Miled, D., Boussaid, M., Abdelkefi, A., & Cherif, A. (1986).** Tolérance au sel d'espèces annuelles du genre *Medicago* au cours de la germination. Séminaire international sur les végétaux en milieu aride, 8 au 10 septembre, Jerba, Tunisie.
6. **Benabdelkader, & Y.M., Nouar, A. (2018).** Caractérisation moléculaire de quelques variétés algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) par les microsatellites. . Mémoire de Master en Biotechnologie et Génomique Végétale. Université des Frères Mentouri Constantine. 1p.
7. **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. Numéro spécial 1*, 278-286.
8. **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. Numéro spécial 1*, 278-286pp.
9. **Benseddik, B., & Benabdelli K. (2000).** Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur en zone semi-aride. *Approche éco- physiologique, Sécheresse*, Vol. 11, N° 1, (2000), pp. 45-51.

10. **Bliss, R. D., Platt-Aloia, K. A., & Thomson, W. W. (1986).** Osmotic sensitivity in relation to salt sensitivity in germinating barley seeds. *Plant, Cell & Environment*, 9(9), 721-725pp.
11. **Bourihane, D., & Mekkaoui, Z. (2013).** Analyse des déterminants de la production du blé en Algérie Cas des wilayas Tiaret, Sétif et Médéa L'échantillon 1990 – 2009. Mémoire de Master en Sciences Economiques, de Gestion et Commerciales. Université Abderrahmane Mira Bejaia. 2p.
12. **Bourihane, D., & Mekkaoui, Z. (2013).** Analyse des déterminants de la production du blé en Algérie Cas des wilayas Tiaret, Sétif et Médéa L'échantillon 1990 – 2009. Mémoire de
13. **Boydak, M., Dirik, H., Tilki, F., & Çaliloglu, M. (2003).** Effects of water stress on germination in six provenances of *Pinus brutia* seeds from different bioclimatic zones in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27(2), 91-97.
14. **Boyer, J. S. (1982).** Plant productivity and environment. *Science*, 218(4571), 443-448pp.
15. **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 Mohames Boudiaf - M'Sila. 11-18pp.
16. **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.
17. **Clerget., (2011) :** BIODIVERSITÉ DES CÉRÉALES Origine et évolution « La biodiversité des céréales et leur utilisation par l'homme » publié dans le bulletin 2011 de la Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard. 1pp
18. **Côme, D. (1970).** Les obstacles à la germination. In *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon* (Ed.). (pp. 162). Paris : Masson et Cie.
19. **Debiton, C. (2010).** Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum L.*) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy. Thèse de Doctorat. Université ClermontFerrand, France.
20. **Delauney, A. J., & Verma, D. P. S. (1993).** Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *The plant journal*, 4(2), 215-223.

21. **Denden, M., Bettaieb, T., Salhi, A., & Mathlouthi, M. (2005).** Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. *Tropicultura*, 23(4), 220-225.
22. **Djahra, A., Benmakhlouf, Z., Benkhirara, S., Benkaddour, M., & Bordjiba, O. (2015).** Effet de stress salin sur la teneur en eau et certains osmolytes chez le blé dur *Triticum durum* var kebir pulvérisé une phytohormone synthétisée : benzyl-amino-purine (BAP). *Algerian journal of arid environment* 71, vol 5, N°2 :71-81.
23. **Djermoun, A. (2009).** La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. *Nature & Technology*, (1), 45.
24. **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.
25. **Ducellier, L. (1930).** Espèces et variétés de céréales cultivées en Algérie. Direction de l'agriculture et de la colonisation.
26. **Ducellier, L. (1930).** Espèces et variétés de céréales cultivées en Algérie. Direction de
27. **Feillet, P. (2000).** Le grain de blé: composition et utilisation. Paris, France : Editions Quae.
28. **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, 28-34pp.
29. **Ghrib, C. D., Gharbi, F., Rejeb, S., Khoudja, L., & Rejeb, M. N. (2011).** Tolérance à la salinité de trois espèces d'Eucalyptus aux stades germinatif et plantule. *European Journal of Scientific Research*, 50(2), 208 – 217pp.
30. **Glenn Lennox.(2003).**L'importance du blé dans le monde. Sur le site : <http://pst.chezalice>.
31. **Gooding MJ. 2009.** The wheat crop. In: *Wheat chemistry and technology*, Khan K, Shewry PR, eds. St. Paul, MN: AACC International, 19-38
32. **Graziano, S., Marando, S., Prandi, B., Boukid, F., Marmioli, N., Francia, E., & Gulli, M. (2019).** Technological quality and nutritional value of two durum wheat varieties depend on both genetic and environmental factors. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(8), 2384-2395.

33. **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.
34. **Hamel Ilyia, (2010).** appréciations de la variabilité génétique des blés dur et des blés apparente par les marqueurs biologiques page 14.
35. **Hamidou F., Zombre D., Guinko T.,(2005) :** Repenses adaptatives de deux variétés de niébé à un stress hydrique. *Cahier agricultures* vol 14. 6 : 561-567 pp.
36. **Hamom S.,(2007) :**L'amélioration de la résistance à la sécheresse peut-elle être basée sur les méthodes de sélection traditionnelle et / ou sur les méthodes biotechnologiques modernes ? Possibilité et limites respectives. Centre IRD de Montpellier.1-6 pp.
37. **Hayek, T., & Abdely, C. (2004).** Effets de la salinité sur l'état hydrique foliaire, la conductance stomatique, la transpiration et le rendement en grains chez 3 populations de mil (*Pennisetum glaucum* L.).*Revue des régions arides*, 1, 273-284.
38. **Hébrard J.P. (1996).** Blé dur : objectif qualité, NUTRITION: des pâtes épatantes. Document édité à l'occasion du colloque : perspectives blé dur, Toulouse, Labège, 26 Novembre 1996 organisé par: ITCF-ONIC-INRA- ITCF, p 6-7.
39. **Hébrard J.P. (1996).** Blé dur : objectif qualité, NUTRITION: des pâtes épatantes. Document édité à l'occasion du colloque : perspectives blé dur, Toulouse, Labège, 26 Novembre 1996 organisé par: ITCF-ONIC-INRA- ITCF, p 6-7.
40. **Heller R., Esnault R. et Lance C., 2004.**Physiologie végétale II, Développement. Ed, Dunod, Paris. 64-240 pp.
41. **Henry, Y; et Buysse, J.(2000).**L'origine du blé. Pour la Science, Hors-série.26 :60-62. insectes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ* 7: 17–35.
42. **Hireche, Y. (2006).** Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L) au stress hydrique et à la profondeur du semis. Mémoire de Magistère. Université EL Hadj Lakhdar Batna. 83 p.
43. **Hopkins, W. G. (2003).** Physiologie végétale. Bruxelles, Belgique: Editions De Boeck Supérieur.
44. **Hopkins, W. G. (2003).** Physiologie végétale. Bruxelles, Belgique: Editions De Boeck Supérieur.
45. **Hopkins W., (2003) :** les relations hydriques dans la plante entière. In : Physiologie végétale. Ed. de Boeck & Larcier. Bruxelles.44-58 pp.

46. **Ingram, J., & Bartels, D. (1996).** The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual review of plant biology*, 47(1), 377-403.
47. **Jean Blotière, M. (1930).** Les productions Algériennes dans : Cahier du centenaire de L'Algérie IX. Ed : Publication du comité nationale métropolitain du centenaire de l'Algérie.
48. **Jean –pierre A., Philippe D., Bernard I., Bernard S., François T., Alban T., (2006)** :sècheresse et agriculture .Réduire la vulnérabilité de l'agriculture a un risque accru de manque d'eau .expertise scientifique collective ,synthèse du rapport ,INRA. France.72 pp.
49. **Jean-Pierre A., Philippe D ., Bernard S., Gill L ., François T., Alban T., (2006)** : Sècheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture a un risque accru de manque d'eau .Expertise scientifique collective, synthèses du rapport, INRA. France 72pp.
50. **Karakas O. Gurel F. & Uncuoglu A. A, 2011.** Assessment of genetic diversity of wheat genotypes by resistance gene analog-est markers. *Genetics and Molecular Research* 10:1098-1110.
51. **Khayatnezhad, M., & Gholamin, R. (2011).** Effects of water and salt stresses on germination and seedling growth in two durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes. *Scientific Research and Essays*, 6(21), 4597-4603.
52. **Kinnet P., 1983-** Bibliothèque de la nature, Les arbres, Edition française, 155p.
53. **Kpinkoun, J. K., Zanklan, S. A., Komlan, F. A., Mensah, A. C., Montcho, D., Kinsou, E., & Gandonou, C. B. (2019).** Évaluation de la résistance à la salinité au stade jeune plant de quelques cultivars de piment (*Capsicum* spp.) du Benin. *Journal of Applied Biosciences*, 133(1), 13561-13573.
54. **Lamaze, T., Tousch, D., Sarda X., Grignon, C., Depigny, D., Monneveux, P. & Belhassen, E. (1994).** Résistance de plantes a la sécheresse : mécanismes physiologiques. *Le sélectionneur Français*, 45: 75-85.
55. **Lamaze, T., Tousch, D., Sarda X., Grignon, C., Depigny, D., Monneveux, P. & Belhassen, E. (1994).** Résistance de plantes a la sécheresse : mécanismes physiologiques. *Le sélectionneur Français*, 45: 75-85.
56. **Larcher, W. (1995).** Plant under stress. In *Physiological Plant Ecology*. 3ème Ed. Springer: 321-448pp.

57. **Laurent H., Sané P.,(2007)** :Transfert d'eau et d'énergie .In :Biotechnologie .Concept et application .Ed .Quae.Paris.246 pp.
58. **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.
59. **Levitt, J. (1980)**. Responses of Plants to Environmental Stress, Volume 1: Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses. Academic Press.
60. **M. (2019)**. Technological quality and nutritional value of two durum wheat varieties depend
61. **Maas, E. V., & Poss, J. A. (1989)**. Salt sensitivity of wheat at various growth stages. Irrigation Science, 10(1), 29-40.
62. **MARIANA SIMOS LARRAS FERRIRA, (2011)** Dynamique d'assemblage des protéines de réserve et du remplissage du grain de blés dure page 22.
63. **Mathieu O.,(2004)** .Etude de la diversité agro morphologique du sorgho et identification
64. **Maury P., Langlade N., Grieu P., Rengel D., Sarrafi A., Debaceke P., Vincourt P., (2011)** : Ecophysiologie et génétique de la tolérance a la sècheresse chez le tournesol. Innovation agronomique .14 :123-138.16 pp.
65. **Meyer S., Reeb C., Bosdevix R.,(2008)** : Adaptation des végétaux à leur environnement .in botanique : biologie et physiologie végétale .Ed .Maloine .France . 355-366 pp.
66. **Michel S., Rogar P., Jean-Claud R.** Adresse URL :<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/blepain/1ble/12orig/origine.htm>.consulté le :06/06/2121.
67. **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.
68. **Mrani-Alaoui, M., El Jourmi, L., Ouarzane, A., Lazar, S., El Antri, S., Zahouily, M., Hmyene, A. (2013)**. Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé. J Mater Environ. Sci, 4 (6) : 997-1004.



69. **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.
70. **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.
71. **Nabors M., (2008):** repenses des plantes aux hormones et aux stimuli environnementaux. In : biologie végétale. Structure, fonctionnement, écologie et biotechnologie. Ed .Pearson Education .France .247 pp.
72. **Ndour, P., & Danthu, P. (1998).** Effet des contraintes 1 hydrique et saline 1 sur la germination de 1 quelques acacias africains. on both genetic and environmental factors. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(8),
73. **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, Dordrech.
74. **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.
75. **Oukarroum, A. (2007).** Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse de docotart. Université de Genève Suisse. 16p.
76. **Radhouane, L., Aissa, N., & Romdhane, L. (2014).** Effets d'un stress hydrique appliqué à différents stades de développement sur l'aspect quantitatif et qualitatif des semences chez un écotype autochtone de sorgho grain (*Sorghum bicolor*). *Journal of Applied Biosciences*, 74(1), 6149-6156.
77. **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.
78. **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.

79. **Rezgui, M., Bizid, E., & Ben Mechlia, N. (2004).** Etude de la sensibilité au déficit hydrique chez quatre variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivées en conditions pluviales et irriguées en Tunisie. *Revue des Régions Arides*, 1, 258-265.
80. **Ricroch A., Dattée Y., Fellous M., (2011) :** Biotechnologies végétale : environnement, alimentation, santé . Ed du Vuibert .170-182 pp.
81. **Sayar, R., Bchini, H., Mosbahi, M., & Ezzine, M. (2010).** Effects of salt and drought stresses on germination, emergence and seedling growth of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *African Journal of Agricultural Research*, 5(15), 2008-2016.
82. **Sears (1954) et Okamoto (1962).** L'origine des blés. In: Gallais A, Bannerot H eds (1992). *Amélioration des espèces végétales cultivées*. INRA Editions: 13-7 1.p24. Thèse Doctorat 3ème cycle, Montpellier III.
83. **Slama, A. (2002).** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat. Université Elmanar Tunisie. 28p.
84. **Tardieu F., Zivy M., Seguin F., (2006) :** Amélioration génétique de la tolérance des cultures à la sécheresse .In *sècheresse et agriculture . Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau .expertise collective scientifique .Rapport INRA*. France 242-257pp.
85. **Toumi, M., Barris, S., & Aid, F. (2014).** Effects of water and osmotic stress on the accumulation of proline and malondialdehyde (MDA) in two varieties of colza (*Brassica napus* L.). *Bulletin de l'Institut Scientifique: Section Sciences de la Vie*, 36, 17-24.
86. **Troll, W., & Lindsley, J. (1955).** A photometric method for the determination of proline. *Journal of biological chemistry*, 215(2), 655-660.
87. **Turner C., Wright G., Siddique M.,(2001) :** Adpatation of grain legume to water limited environments .Elsevier .71 :193-231pp.
88. **Vavilov, N. I., 1951:** The origin, variation, immunity and breeding.
89. **Veselovsky, H. (1985).** Sunflower growing. *J. Selyskoe Hozayaystvo I lesovodstvo*. T.O. XLVIII (In Russian).
90. **Wilfried, C. (2005).** Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant science*, 168(1), 241-248.
91. **Yokota, A., Takahara, K., & Akashi, K. (2006).** Water stress. In *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants* (pp. 15-39). Springer, Dordrecht.

## Effet du stress osmotique sur la germination chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*) : accumulation des osmolytes.

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Biotechnologie et  
Génomique Végétale

### Résumé :

La croissance et le rendement de la culture du blé dur en Algérie sont limités, à cause des facteurs auxquels on peut remédier par la compréhension des mécanismes de tolérance au stress chez cette céréale. Ces mécanismes aident également à pallier aux effets néfastes du stress et à dévoiler les stratégies adaptatives mises en place par cette céréale.

Quatre variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*) Waha, vitron, simito et GTA ont été utilisées dans nos expérimentations. Une étude de la germination a été réalisée en présence de NaCl et en présence de PEG-6000, en prenant en compte différentes variables représentatives de la réponse des variétés étudiées à ce stade. Deux paramètres biochimiques ont été considérés : le taux de sucres solubles et le taux de proline.

Les résultats obtenus montrent que les différents stress appliqués affectent le comportement de l'ensemble des variétés étudiées et permettent la compréhension des mécanismes de tolérances au stress abiotique des quatre variétés, qui semblent privilégier, la stratégie adaptative comme réponse au stress osmotique.

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

**Laboratoire de recherche en Génétique, Biochimie et Biotechnologies Végétales.**

Jury d'évaluation :

**Présidente :** MOUELLEF Adra, MCB - UFM Constantine.  
**Encadrant :** YKHLEF Nadia, Pr- UFM Constantine.  
**Examinatrice :** HAMLAM Chourouk, MCB - UFM Constantine.

**Date de soutenance :** 08 /07/2021

