

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 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



## Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité/Option : Phytopharmacie et protection des végétaux

## Thème:

Réponses physiologiques et biochimiques de l'orge

(*Hordeum vulgare* L.) Au stress salin

Présenté par :

- \_ Gridi Wasila
- \_ Meguimi Ferial

Devant le jury :

Président Ouchtati Nadia M.C.A Université de Guelma

Examinatrice Alioui Noura M.C.A Université de Guelma

Encadreur Chahat Nora M.C.B Université de Guelma

**Juin 2022**

## *Remerciements*

*Nous disons avant tout merci au dieu le tout puissant qui nous a donné  
vie et nous a aidé à réaliser ce travail.*

*Tout d'abord, Nous remercions notre encadreur **Mme Chaïhat Nora**  
pour sa disponibilité et pour tous les efforts qu'elle a fournis afin de nous  
aider à réaliser notre travail de recherche avec plaisir....*

*On tient à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères  
remerciements*

*A **Mme Ouchtati Nadia** d'avoir accepté de juger ce travail en qualité de  
président de jury.*

*A **Mme Alliouï Noura** d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.*

*Nous remercions très sincèrement **Mme Drif Fahima** et **Mr Zitouni Ali** pour  
l'aide et les conseils qu'ils nous ont apportés*

*Nous remercions aussi tous les techniciennes des laboratoires  
**Nadjah, Louïza et mahdi.***

# Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction ..... 1

## *Chapitre 1: Présentation de l'espèce étudiée*

1.1. Origine et aire de culture ..... 4

1.2. Caractères taxonomiques et morphologiques de l'orge ..... 4

1.2.1. Caractères taxonomiques ..... 4

1.2.2. Caractères morphologiques ..... 6

1.3. Caractéristiques histologiques du grain d'orge ..... 7

1.3.1. L'embryon ..... 7

1.3.2. L'endosperme ..... 8

1.3.3. Les enveloppes ..... 8

1.3.3.1. La paroi externe ..... 9

1.3.3.2. Les glumelles ..... 9

1.3.3.3. Péricarpe et Testa ..... 9

1.3.4. La couche à aleurone ..... 9

1.4. Classification botanique de l'orge ..... 10

1.5. Exigences pédoclimatiques ..... 10

1.5.1. Température ..... 10

1.5.2. Eau ..... 10

1.5.3. Sol ..... 11

1.5.4. Assolement/ Rotation ..... 11

1.6. Les principales variétés d'orge cultivées en Algérie ..... 12

1.7. Production d'orge dans le monde et en Algérie ..... 13

1.7.1. Production mondiale ..... 13

1.7.2. Production En Algérie ..... 13

1.8. Importance et utilisation de l'orge ..... 14

1.9. Ravageurs et maladies cryptogamiques de la culture d'orge ..... 15

1.9.1. Les ravageurs ..... 15

1.9.2. Les maladies cryptogamiques ..... 16

## *Chapitre 2: Salinité et plantes*

<b>2.1. Définition.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. Les sols salés.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1. Origine des sols salés .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1.1. Salinisation primaire.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1.2. Salinisation secondaire.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3. Localisation géographique des sols salés .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4. Salinité dans le monde et en Algérie .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4.1. Dans le monde.....</b>	<b>21</b>
<b>2.4.2. En Algérie.....</b>	<b>22</b>
<b>2.5. Stress salin et ses effets sur les plantes .....</b>	<b>23</b>
<b>2.5.1. Définition.....</b>	<b>23</b>
<b>2.5.2. Effet du stress salin sur les plantes .....</b>	<b>23</b>
<b>2.5.2.1. Effet sur la morphologie de plante.....</b>	<b>23</b>
<b>2.5.2.2. Effet sur les processus physiologiques de la plante .....</b>	<b>24</b>
<b>2.5.2.3. Effet sur la germination des graines .....</b>	<b>24</b>
<b>2.5.2.4. Effet sur le comportement hydrique de la plante.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.2.5. Effet sur la croissance et le développement.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.2.6. Effet sur la photosynthèse.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.2.7 Effet sur le rendement.....</b>	<b>26</b>
<b>2.6. Mécanismes de résistance des plantes face au stress salin.....</b>	<b>27</b>
<b>2.6.1. Exclusion et inclusion d'ions.....</b>	<b>27</b>
<b>2.6.2. Synthèse des solutés compatibles .....</b>	<b>27</b>
<b>2.6.3. Induction d'antioxydants .....</b>	<b>27</b>
<b>2.6.4. Changement dans le cheminement photosynthétique.....</b>	<b>28</b>
<b>2.6.5. Induction des hormones végétales .....</b>	<b>28</b>

### *Chapitre 3: Matériel et méthodes*

<b>3.1. Objectif de l'essai.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2. Présentation du site de l'essai .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3. Matériel végétal .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.1. Grains de l'orge .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.2. Origine et caractéristique de la variété.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.3. Les solutions salines (NaCl).....</b>	<b>31</b>
<b>3.4. Installation et conduite de l'essai .....</b>	<b>31</b>

3.4.1. Essai de germination .....	31
3.4.2. Essai de croissance .....	32
3.4.3. Caractéristique de substrat.....	33
3.4.4. Irrigation .....	34
3.4.5. Paramètres estimés.....	34
3.4.5.1. Hauteur des plantes.....	34
3.4.5.2. Longueur de la racine principale .....	34
3.4.5.3. Détermination de la biomasse aérienne et souterraine .....	34
3.4.5.4. La surface foliaire SF .....	35
3.4.5.5. Dosage de chlorophylle .....	35
3.4.5.6. Dosage des sucres solubles.....	36

#### *Chapitre 4: Résultats et discussion*

4.1. Essai de germination dans les boites de Pétri .....	40
4.1.1. Pourcentage de germination des graines.....	40
4.1.2. Longueur de la radicule.....	41
4.1.3. Longueur de la tigelle.....	42
4.2. Essai de croissance et de développement des plantules dans les pots.....	43
4.2.1. Hauteur des plantes.....	43
4.2.2. La longueur de la racine principale.....	44
4.2.3. La surface foliaire.....	45
4.2.4. Le poids frais de la partie aérienne et souterraine .....	46
4.2.5. Le poids sec de la partie aérienne et souterraine.....	47
4.2.6. La teneur en chlorophylle totale .....	49
4.2.7. Dosage des sucres solubles.....	50
Conclusion.....	53
Références bibliographiques .....	56
<i>Résumés</i> .....	67
<i>Annexes</i> .....	71

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Distinction entre l'orge à deux rangs et l'orge à six rangs .....	6
<b>Figure 2:</b> Principaux traits morphologiques de l'orge, A: <i>Hordeum vulgare</i> L., B: <i>Hordeum hexastichon</i> L. ....	7
<b>Figure 3:</b> Coupe longitudinale d'un grain d'orge .....	8
<b>Figure 4 :</b> Quelques ravageurs affectant la culture d'Orge .....	15
<b>Figure 5.</b> Symptômes des quelques maladies cryptogamiques de l'orge .....	17
<b>Figure 6:</b> Carte des zones arides semi arides dans le monde .....	22
<b>Figure 7:</b> Représente les grains de la variété d'Orge testée ( <i>Hordeum vulgare</i> L.) .....	30
<b>Figure 8:</b> Essai de germination des grains d'Orge dans les boîtes de Pétri .....	32
<b>Figure 9:</b> Description du dispositif expérimental de l'essai de germination dans les boîtes de Pétri. ....	32
<b>Figure 10 :</b> Essai de croissance dans les pots et sous serre en plastique .....	33
<b>Figure 11:</b> Description du dispositif expérimental de l'essai de croissance dans les pots et sous serre .....	33
<b>Figure 12:</b> Quelques étapes de dosage de la chlorophylle .....	36
<b>Figure 13 :</b> Quelques étapes de dosage des sucres solubles .....	37
<b>Figure 14 :</b> Pourcentage de germination (%) des grains d'Orge soumis aux différentes concentrations de NaCl (mM) .....	41
<b>Figure 15:</b> La longueur de la racine (cm) de la variété d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM) .....	42
<b>Figure 16 :</b> La longueur de la tige (cm) de la variété d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM) .....	43
<b>Figure 17:</b> La hauteur des plantules (cm) d'Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM) .....	44
<b>Figure 18:</b> La longueur de la racine principale (cm) des plantules d'Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM) .....	45
<b>Figure 19 :</b> Surface foliaire (cm <sup>2</sup> ) des plantules d'Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM) .....	46
<b>Figure 20:</b> Le poids frais de la partie aérienne (mg) des plantules d'Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM) .....	47
<b>Figure 21:</b> Le poids frais de la partie souterraine (mg) des plantules d'Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM) .....	47

<b>Figure 22:</b> Le poids sec de la partie aérienne (mg) des plantules d’Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM) .....	48
<b>Figure 23:</b> Le poids sec de la partie souterraine (mg) des plantules d’Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM) .....	49
<b>Figure 24:</b> La teneur en chlorophylle ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ ) dans les feuilles des plantules d’Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM) .....	50
<b>Figure 25:</b> La teneur en sucres solubles ( $\mu\text{g}/\text{mg MF}$ ) dans les feuilles des plantules d’Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM) .....	51

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Classification botanique de l'orge ( <i>Hordeum vulgare</i> L.) .....	10
<b>Tableau 2:</b> Variétés d'orge cultivées en Algérie .....	12
<b>Tableau 3:</b> Production mondiale d'Orge (en M.T) et principaux pays producteurs durant la période 2012 à 2015 .....	13
<b>Tableau 4:</b> Principales maladies fongiques de l'orge recensées en Algérie .....	16
<b>Tableau 5:</b> Superficie affectée par la salinité dans monde .....	22
<b>Tableau 6:</b> Origine et caractéristiques de la variété étudiée .....	31



# Liste des abréviations

- ABA** : Acid abscissique
- CaCo<sub>3</sub>**: Carbonate de calcium
- Chla+b** : Chlorophylle a+b
- Cl<sup>-</sup>** : Chlorure
- CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone
- CO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Carbonate
- D.O**: Densité Optique
- FAO**: Food and Agriculture Organization
- Fig** : Figure
- ITGC** : Institut Technique des Grandes cultures
- K<sup>+</sup>** : Potassium
- M.T**: Million de Tonnes
- MF** : Matière Fraiche
- Mg** : Magnesium
- mM** : milli-Molaire
- mm** : milli mètre
- N** : Azote.
- Na<sup>+</sup>** : Sodium
- NaCl** : Chlorure de Sodium
- O.A.I.C** : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales
- pH** : Potentiel hydrogène
- R** : Répétition
- SF** : La surface foliaire
- Tab** : tableau
- %** : Pourcentage
- °C** : Degré Celsius
- µg** : micro gramme

# *Introduction*

## **Introduction**

Les céréales constituent de loin la ressource alimentaire la plus importante au monde à la fois pour la consommation humaine et pour l'alimentation du bétail. Le secteur des céréales est d'une importance cruciale pour les disponibilités alimentaires mondiales. Les céréales notamment, les blés dur et tendre, l'orge, triticale, l'avoine, le maïs, le riz, le sorgho et le millet produisent des graines ou caryopses très riches en amidon. Vu qu'elles fournissent plus de 50% des besoins énergétiques des êtres humains et occupent une position stratégique dans l'économie internationale (**Ben Mbarek et Boubaker, 2017**). La culture céréalière Algérienne reste très dépendante des conditions climatiques et aussi très influencée par les effets néfastes des stress abiotiques, notamment le stress salin et le stress hydrique (**Djermoune, 2009**). En effet, chaque année les surfaces perdues à cause de ces deux stress sont considérables (**Toumi et al., 2014**). Ces contraintes environnementales causent le plus des dommages importants aux productions agricoles.

Parmi les céréales les plus cultivée, l'orge (*Hordeum vulgare* L.) qui constitue la deuxième espèce en importance après le blé dur (**Rahal-Bouziane, 2018**). Utilisée principalement pour l'alimentation du bétail, comme elle pourrait avoir d'autres usages entre autres : l'alimentation humaine, la brasserie et come engrais vert (**Ben Mbarek et Boubaker, 2017**).

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est l'espèce qui tolère le plus la salinité en comparaison avec les blés dur et tendre (**Ashraf et al., 2012**). Suite à cette tolérance, toute relative, l'orge est emblavée dans des régions arides et semi-arides qui se caractérisent par des contraintes assez fortes rendant la culture des blés peu économique (**Bouzerzour et al., 1998**). Dans ces régions, la salinité est la contrainte majeure qui affecte négativement la production agricole. Elle résulte principalement d'une forte irrégularité des précipitations associées à une importante évaporation favorisant ainsi l'accumulation des sels dans le sol. Ce phénomène affecte près de 7% de la surface globale dans le monde (**Lachhab et al., 2013**).

Dans les dernières décennies, des progrès considérables ont abouti à la recherche des plantes tolérantes à la salinité par la sélection conventionnelle et les techniques de sélection (**Achraf et al., 2004**). Parmi les techniques de sélection des plantes tolérantes aux sels, celles basées sur l'utilisation à la fois de paramètres physiologiques et agronomiques qui permettent de faire la relation entre le développement végétatif et les paramètres physiologiques de tolérance durant le cycle de croissance de la plante (**Munns, 2002**). L'identification des variétés et des génotypes

tolérants aux sels, capables de minimiser les effets dépressifs de la salinité sur les rendements, permettrait certainement d'améliorer la production agricole des zones touchées par la salinité (**Bendire et al., 2015**).

La présente étude s'inscrit dans l'évaluation des réponses physiologiques et biochimiques d'une variété d'orge (El fouara) soumise à des niveaux croissants de salinité en suivant plusieurs paramètres liés à la germination des graines et la croissance des plantules suite à l'effet de l'exposition à différentes concentrations de NaCl.

*Chapitre 1:*  
*Présentation de l'espèce*  
*étudiée*

## 1.1. Origine et aire de culture

L'orge est l'une des plus anciennes céréales cultivées sur terre. Les études génétiques, incluant les analyses récentes en Biologie moléculaire confirment que l'orge cultivée actuellement a évolué à partir de *Hordeum spontaneum* L. (Nevo, 1992), espèce d'orge spontanée présente encore au Proche et Moyen-Orient qui porte des épis à deux ou six rangs (Bonjean et Picard, 1990).

La domestication des orges était plus ancienne que celle du blé. Les études archéologiques effectuées en Syrie et en Iraq ont mis en évidence la présence de caryopses d'orge datant de 10.000 ans avant J-C (Badr et al., 2000). Ainsi, pendant l'antiquité et jusqu'au deuxième siècle avant J-C, l'orge était la céréale la plus utilisée pour l'alimentation humaine dans les régions du croissant fertile, d'Europe et du Bassin méditerranéen. Quant aux pays du Maghreb son introduction s'est faite depuis le croissant fertile en passant par l'Egypte (Boulal et al., 2007).

En Asie occidentale l'orge a été domestiquée avant 7000 ans avant J-C. Sa culture s'est répandue dans l'Afrique du nord et a remonté le Nil jusqu'à atteindre l'Ethiopie, où elle est devenue l'une des céréales les plus importantes. L'orge a gagné le sud de l'Espagne vers 4000–5000 avant J-C. et elle a atteint l'Europe du Nord et centrale, ainsi que l'Inde, vers 2000–3000 avant J-C. En Afrique, on la trouve surtout dans les régions tropicales (Afrique de l'Est) tandis qu'en Afrique de l'Ouest, l'orge est une culture de saison froide du Sahel et du nord du Nigeria. A Madagascar, elle se cultive pendant la saison sèche (Ceccarelli et Grando, 1996).

## 1.2. Caractères taxonomiques et morphologiques de l'orge

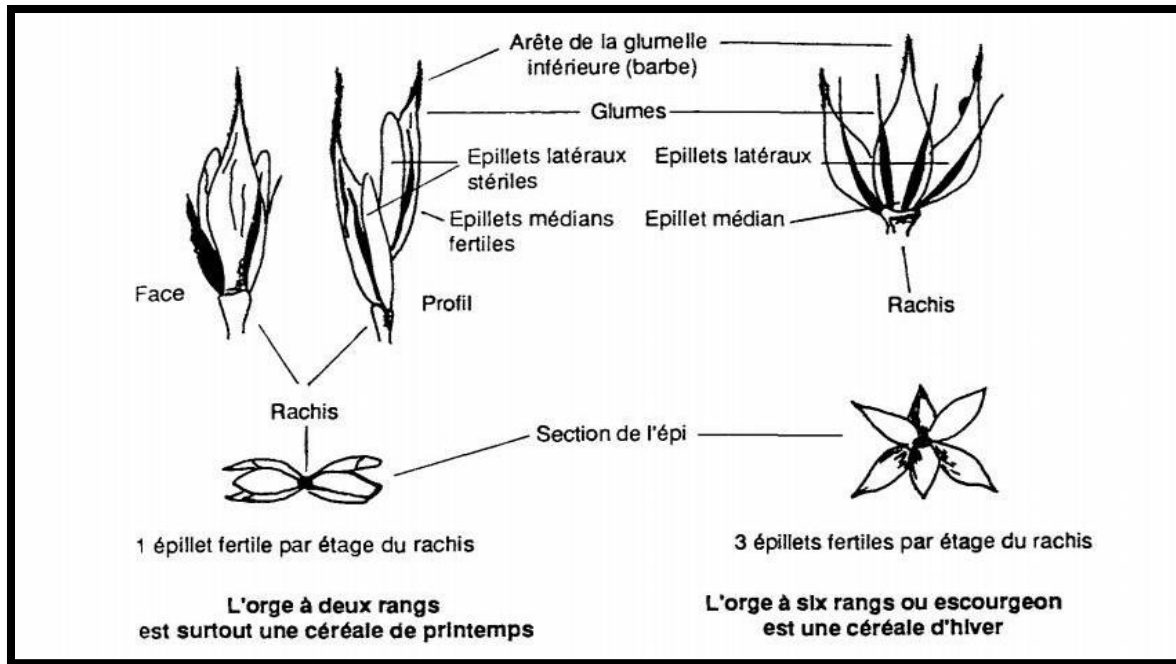
### 1.2.1. Caractères taxonomiques

L'orge cultivée (*Hordeum vulgare* L.), est une plante herbacée, annuelle et diploïde ( $2n=14$ ) (Ben Mbarek et Boubaker, 2017). Des formes tétraploïdes ( $2n=28$ ) peuvent apparaître spontanément, ou par traitement au laboratoire, mais elles n'ont aucun intérêt agronomique. La variabilité de l'orge cultivée est immense, avec des milliers de variétés-populations et des centaines de cultivars. Les cultivars se différencient selon le nombre de rangs de grains (2 ou 6 rangs), l'aspect des épis (lâche ou compact), ou la présence ou l'absence d'arêtes sur les lemmes. Tous les types sauvages possèdent des épis à deux rangs, ce

qui signifie que sur les 3 épillets situés à chaque nœud, les deux latéraux sont stériles et seul celui du milieu forme une graine. La domestication a donné naissance à des types à 6 rangs où chacun des 3 épillets produit des grains (**Ceccarelli et Grando, 1996**).

Selon **Ben Mbarek et boubaker (2017)**, les variétés d'orge sont classées d'après les caractéristiques de leurs épis en trois grands groupes (**Fig. 1**).

- L'orge à deux rangs: ce type d'orge est caractérisé par un épi aplati composé de deux rangées médianes d'épillets fertiles alternés par deux rangées d'épillets stériles. Elle ne produit qu'un seul caryopse par groupes de trois épillets. Les grains sont uniformes. Ce type comprend, surtout, des variétés précoces de printemps et quelques variétés tardives d'hiver. Généralement, les variétés cultivées d'orge à deux rangs sont à épi lâche et appartiennent au type nutans, alors que quelques-unes seulement sont à épi compact et de type erectum.
- L'orge à 6 rangs: c'est une culture d'hiver de type parallelium dite aussi escurgeon. Elle est caractérisée par un épi de section rectangulaire et des grains de petits calibres. En fait, sur chaque axe du rachis, les trois épillets sont fertiles. Toutefois, les grains du centre sont légèrement plus gros et plus renflés que les grains latéraux. Ce type comprend surtout des variétés tardives.
- L'orge à 4 rangs : elle est de type pallidum et caractérisée par un épi aplati composé de 4 rangées d'épillets fertiles séparés par un épillet stérile. L'orge à 4 rangs est rarement cultivée.



**Figure 1:** Distinction entre l'orge à deux rangs et l'orge à six rangs (Simon et al., 1989)

### 1.2.2. Caractères morphologiques

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est une plante hermaphrodite autofécondée, très semblable au blé dans la morphologie de ses organes végétatifs et floraux (Fig.2). Au stade végétatif, elle se distingue principalement des autres céréales par un feuillage vert clair, une ligule très développée, des oreillettes glabres et un fort tallage (Boulal et al., 2007).

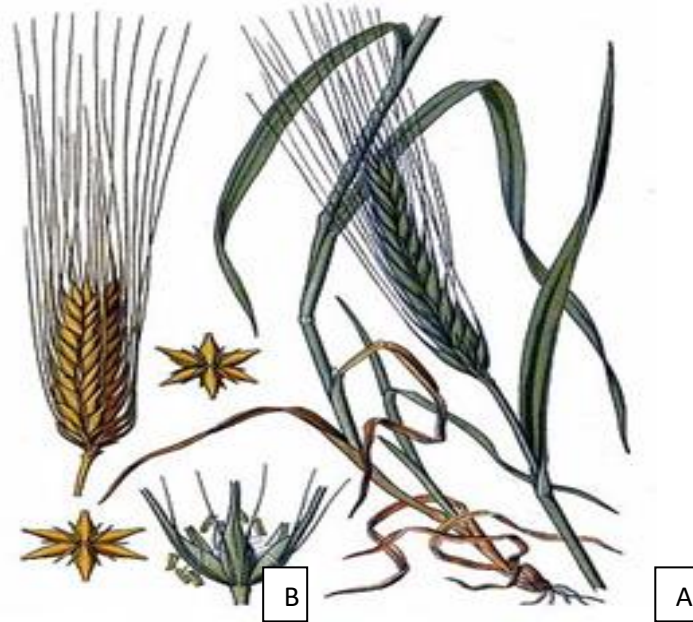
L'appareil racinaire de type fasciculé est peu développé. Deux systèmes se forment au cours du développement : un système primaire et un système secondaire, le premier ou système de racines séminales fonctionne de la germination à la ramification de la plantule (tallage). Les racines séminales ne restent pas longtemps fonctionnelles et sont remplacée par un deuxième système de racines adventives qui assurent la nutrition et le développement de la plante (Simon et al., 1989).

La tige est de forme cylindrique et creuse, entrecoupée de nœuds là où se forment les feuilles (Gomez- Macpherson, 2001). Ces dernières sont à nervures parallèles et formées de deux parties : la partie inférieure entourant la jeune pousse ou la tige (la gaine) et la partie supérieure en forme de lame (le limbe) (Belaid, 1986).

L'appareil reproducteur formé de fleurs groupées en inflorescences, constitue un ensemble d'unités appelées épillets. Ces derniers sont fixés un axe ou rachis formant l'épi (Gomez- Macpherson, 2001).



Le grain est un caryopse à glumelles adhérentes chez les variétés cultivées. Une coupe transversale du grain, montre les mêmes assises de cellules que chez le blé, sauf que l'assise à aleurone comporte trois couches de cellules au lieu d'une seule (**Clement-Grandcourt et Prats, 1971**).



**Figure 2:** Principaux traits morphologiques de l'orge, A: *Hordeum vulgare* L., B: *Hordeum hexastichon* L. [1]

### 1.3. Caractéristiques histologiques du grain d'Orge

Le grain d'orge est de structure complexe contenant une plantule complète (embryon), une réserve de matières nutritives (l'endosperme), une couche périphérique de cellules capables de former des enzymes hydrolytiques (la couche aleurone), une membrane semi-perméable (le péricarpe-testa) et une paroi extérieure pailleuse. La figure 3 représente la coupe longitudinale d'un grain d'orge qui permet de distinguer trois parties essentielles (embryon ou germe, l'endosperme et les enveloppes). Chaque partie du grain d'orge se caractérise par une composition biochimique particulière (**Hariri, 2003**).

#### 1.3.1. L'embryon

Le grain d'orge est constitué d'un embryon (germe) arrangé principalement sur la face dorsale du grain et d'une couche amyloacé limitée extérieurement par plusieurs assises successives. L'embryon est séparé de l'endosperme par scutellum le, qui a une fonction de sécrétion et permet la diffusion des enzymes hydrolytiques de l'embryon vers l'endosperme. Il

contient le patrimoine génétique responsable de la future plante. L'embryon est riche en protéines, lipides, minéraux et en vitamine E. Il contient à lui seule la plus grande proportion de lipides (Godon et Willm, 1991). Quant aux sucres, 25% du poids sec de l'embryon sont représentées par le saccharose et le raffinose. Les protéines sont principalement des albumines et des globulines (Favier, 1989).

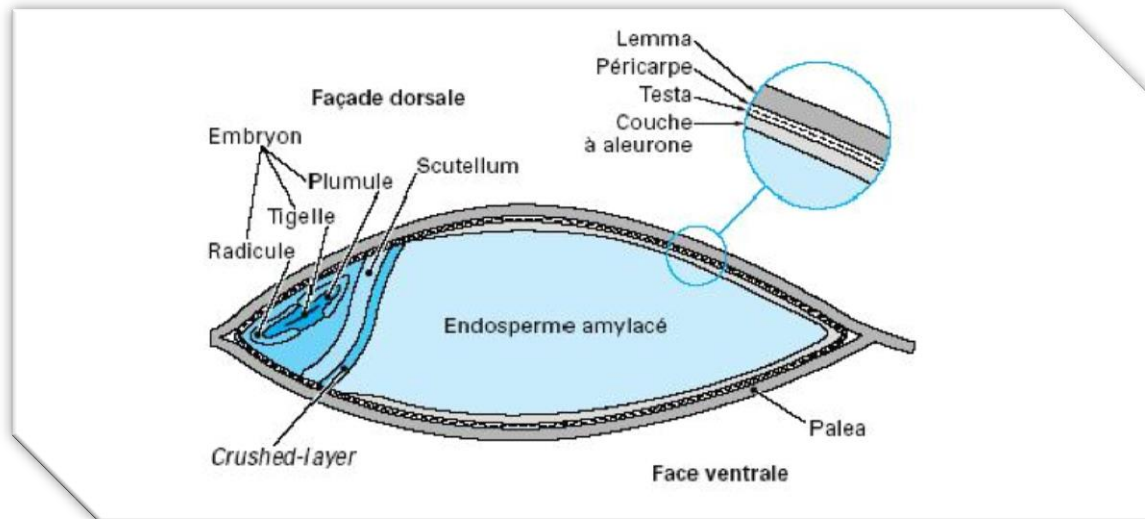


Figure 3: Coupe longitudinale d'un grain d'orge (Société Malteurop, 2000)

### 1.3.2. L'endosperme

Les grains d'orge sont caractérisés par une différence structurale au niveau de l'endosperme. Il existe des secteurs farineux, contenant des cellules condensées avec la présence d'un espace entre les granules d'amidon et des secteurs durs avec des granules d'amidon condensés dans une matrice de protéines denses (Chandra, 1999). Les analyses biochimiques effectuées sur l'endosperme ont révélé que cette substance est constituée de 65% d'amidon, de 7 à 12% de protéines, de 6 à 8% de matériels celluloseux dans les parois cellulaires (70% de -glucanes, 20%, de pentosanes, 5% de protéines, 2% de glucomannanes, 2% de cellulose, 0,5% d'acides phénolique et 0,5% d'acides uroniques) et 2 à 3% de lipides (Jeantet et al., 2007).

### 1.3.3. Les enveloppes

Les enveloppes du grain d'orge restent attachées ou soudées après battage. Elles contiennent 39 % de cellulose, 12% d'hémicellulose, 22 % de lignine, 11 % d'amidon, 4 % de protéines et 4 % de lipides. Elles sont formées de plusieurs couches de structure différentes. De l'extérieur vers l'intérieur on trouve (Deepak et al., 2013) :

### 1.3.3.1. La paroi externe

La paroi externe entoure complètement le grain sauf aux 2 extrémités. Elle représente 3% du poids du grain. Elle possède une fonction protectrice, et assure par capillarité la distribution d'eau sur la surface du grain. La graine est sélectivement perméable, il empêche non seulement la sortie des sucres et des acides aminés du grain, mais aussi l'entrée des microorganismes. Les dégradations fortuites de ces parois permettent la perte de substances nutritives, la croissance microbienne dans les tissus et la perte de la force mécanique (**Guiga, 2006**).

### 1.3.3.2. Les glumelles

Le grain d'orge possède deux glumelles ; dorsale et ventrale. La paroi de la glumelle dorsale est plus épaisse que celle de la glumelle ventrale. Les glumelles protègent le grain et la future plantule au cours de la germination. Les glumelles sont très riches en celluloses et hémicelluloses et représentent 10 à 20 % du poids sec de la graine (**Mac Leod, 1979**).

### 1.3.3.3. Péricarpe et Testa

Le péricarpe est subdivisé en épicarpe, protégé par la cuticule et les poils, en mésocarpe, formé par des cellules transversales et endocarpe, constitué par des cellules tubulaires. Le péricarpe est composé de 20% de cellulose, 6% de protéines, 2% de cendres et 5 % lipides (**Jeantet et al., 2007**). La testa est constituée de deux bandes superposées composées de matériaux cireux et lipidiques. L'ensemble péricarpe-testa est semi-perméable; il est perméable à l'eau mais constitue une barrière pour de nombreux solutés. Il attribue la capacité sélective de l'absorption du grain. La testa contient beaucoup de substances phénoliques telles que les pro-anthocyanidines qui sont impliquées dans le trouble colloïdal de la bière (**Guiga, 2006**).

### 1.3.4. La couche à aleurone

Cette couche comprend trois et quelquefois quatre rangs de cellules, en comparaison avec le blé et le seigle (un seul rang), excepté dans le voisinage de l'embryon, où la couche s'amincit progressivement se réduisant peu à peu à deux rangs, puis à un seul rang (**Saulnier, 2012**) (**Fig. 3**).

La couche à aleurone renferme dans sa partie la plus externe, de l'amidon et des protéines et dans sa partie interne, des lipides (30%), des protéines (20%), de l'acide phytique,

des vitamines du groupe B, de la cellulose et des pentosanes, mais pas d'amidon (Jeantet et al., 2007).

#### 1.4. Classification botanique de l'orge

L'orge cultivée (*Hordeum vulgare* L.) est une plante de la classe des monocotylédones qui appartient à la famille des Poaceae (ex. graminée) et au genre *Hordeum* (Tab.1) qui comprend 31 espèces, selon Chadefaud et Emberger (1960), *Hordeum vulgare* L. est appartient à la classification suivante:

**Tableau 1:** Classification botanique de l'orge (*Hordeum vulgare* L.)

<b>Règne</b>	<b>Plantae</b>
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
S/Classe	Commelinidae
Ordre	Poale
Famille	Poaceae
S/Famille	Hordeoideae
Genre	<i>Hordeum</i>
Espèce	<i>Hordeum vulgare</i> L.

#### 1.5. Exigences pédoclimatiques

##### 1.5.1. Température

L'orge est une culture qui s'adapte facilement à tout environnement. Elle a donc peu d'exigences pour s'adapter aux conditions météorologiques. A partir de 5°C, l'orge peut déjà commencer à germer, puis aura besoin de 15 à 20°C pour fleurir et ensuite murir. L'orge peut bien résister au froid de l'hiver et jusqu'à moins 10°C [2]. Les sommes de températures exigées pour l'ensemble du cycle végétatif sont de 1600 à 1700°C pour l'orge de printemps

(le cycle est de 110-120 jours) et 1900 à 2000°C pour l'orge d'hiver (le cycle est de 250 jours) (Moule, 1980).

##### 1.5.2. Eau

L'eau est un élément vital, outre son rôle dans la photosynthèse, le transport et l'accumulation des éléments nutritifs ainsi que dans la division cellulaire et la régulation

thermique. L'eau joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes cultivés (Riou, 1993). L'orge est une plante qui résiste mieux à la sécheresse en comparaison avec le blé. Elle doit être cultivée dans des zones à au moins 350 mm de pluviométrie. Cette espèce a besoin d'eau au début de son développement, mais supporte très bien la sécheresse par la suite (ITGC, 2020).

Selon Moule (1980), L'orge (*Hordeum vulgare* L.) nécessite en moyenne 450 à 500 mm d'eau pour produire 40 quintaux de grains et 3,5 tonnes de paille, ces besoins sont généralement satisfaits quand il s'agit d'une orge d'hiver. Dans le cas de l'orge de printemps, la pluviométrie printanière ne peut les satisfaire, ce qui explique l'importance des réserves en eau du sol pour cette culture.

### 1.5.3. Sol

L'orge s'accommode à tous les types de sol, à l'exception des sols argileux, des sols compacts, des sols humides et des sols trop acides et tolère les sols légèrement salins (ITGC, 2020).

### 1.5.4. Assolement/ Rotation

L'orge succède à toutes les cultures qui libèrent le sol tôt (les plantes sarclées ou les plantes fourragères, récoltées tôt).

L'orge favorise la propagation de plusieurs maladies cryptogamiques, c'est pour cela qu'il est déconseillé de lui faire succéder le blé. L'orge convient en fin de rotation, suivie d'une culture fourragère.

Dans les régions humides, il est conseillé un assolement triennal :

- Légumineuse alimentaire / orge / bersim.

Dans les régions semi-arides, il est conseillé un assolement biennal :

- Jachère travaillée /orge.
- Orge/jachère pâturée.
- Légumineuse alimentaire/orge.
- Orge/bersim (ITGC, 2020).

## 1.6. Les principales variétés d'Orge cultivées en Algérie

Selon **Boufenar et Zaghouan (2006)**, les variétés Saïda, Rihane 183 et Tichedrette sont largement distribuées en Algérie. Le recours aux autres variétés est lié à leur zone de prédilection. Certaines variétés existent mais sont peu demandées comme celles de Jaidor (Dahbia), Barberousse (Hamra), Ascad 176 (Nailia) et El-Fouara. Le choix de la variété à utiliser dépend de ses caractéristiques agronomiques et de la zone de culture. Les principales variétés cultivées en Algérie sont regroupées dans le (**Tab. 2**).

**Tableau 2:** Variétés d'orge cultivées en Algérie (**Boufenar et Zaghouane, 2006**)

Variétés	Caractéristiques
Jaidor (Dahbia)	Paille courte, précoce, fort tallage, bonne productivité, tolérante aux maladies et à la verse, sensible au gel et à l'égrenage.
Rihane 03	Paille courte, précoce, fort tallage, bonne productivité, à double exploitation.
R'mada	Précoce, à fort tallage et bonne productivité. Elle est tolérante aux rouilles et à la verse, adaptée aux zones des plaines intérieures.
Barberousse (Hamra)	Paille moyenne, précoce, tallage moyen, bonne productivité, sensible à la verse, à la sécheresse et au froid.
Bahria	Paille courte et creuse, précoce, fort tallage, bonne productivité, sensible à la jaunisse nanisant et résistante à la verse.
Nailia	Variété précoce, résistante à la verse et tolérante à la sécheresse. Elle est sensible aux maladies (rouille brune, oidium, helminthosporiose, rhyncosporiose).
Saïda 183	Variété locale, semi-tardive, à paille moyenne et creuse, tallage moyen, bonne productivité, sensible aux maladies.
Tichedrett	Variété locale, à paille moyenne, précoce, tallage moyen, bonne productivité et rustique.
El fouara	paille courte ou moyenne, fort tallage, bonne productivité, tolérante au froid, à la sécheresse et à la verse. Elle est adaptée aux Hauts-plateaux.

## 1.7. Production d'orge dans le monde et en Algérie

### 1.7.1. Production mondiale

Les céréales occupent environ 15% des terres agricoles, avec une production mondiale de l'ordre de 2400 MT. L'orge est l'une des céréales les plus importantes dans le monde, étant classée au quatrième rang pour la production dans le monde (FAOSTAT, 2015). Selon la FAO (2015), la production mondiale de l'orge n'a pas connue de grandes variations durant la période 2012-2015.

Cette production est en recul par rapport aux campagnes précédentes ; cette diminution est due en partie à la réduction de la superficie emblavée (-10%), mais aussi à une baisse de rendement due aux aléas climatiques dans certaines régions, notamment en Russie et en Ukraine (Burnyp, 2011). Les plus gros exportateurs d'orge sont l'Union européenne, l'Australie et le Canada. Les importateurs les plus importants sont l'Arabie saoudite, la Chine et le Japon (Akal et al., 2004). Les principaux pays producteurs de l'orge sont mentionnés dans le tableau 3 [3].

**Tableau 3:** Production mondiale d'orge (en M.T) et principaux pays producteurs durant la période 2012 à 2015 [3]

Pays	Production (M.T) / Période		
	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Europe	55,9	60,8	56,8
Ex-URSS (dont Russie et Ukraine)	26,0	28,8	29,3
Nord et Centre Amérique	13,4	15,5	12,5
Sud Amérique	6,3	5,8	4,0
Proche Orient (dont Iran et Turquie)	10,3	12,5	9,5
Extrême Orient (dont Chine et Inde)	5,0	4,5	4,5
Afrique (dont Algérie, Ethiopie et Maroc)	5,4	7,0	7,1
Océanie	7,9	9,9	8,5
<b>TOTAL MONDE</b>	<b>130,2</b>	<b>144,9</b>	<b>133,0</b>

### 1.7.2. Production En Algérie

En Algérie, 35% de la superficie céréalière est consacrée à la culture d'orge qui est concentrée entre les isohyètes 250 et 450 mm (Menad et al., 2011). Confrontée à des contraintes d'ordre climatiques et techniques, la production Algérienne d'orge est faible et

surtout variable dans l'espace et le temps. Cette réduction de production est due à nombreux facteurs : l'abandon de la culture de l'orge par les agriculteurs au profit du blé, l'insuffisance et l'irrégularité de la pluviométrie, le faible potentiel des variétés cultivées et surtout les maladies parasitaires qui provoquent chaque année des pertes considérables du rendement (**Bouzerzour et Benmahammed, 1993**).

Cependant, ces dernières années, la production nationale de l'orge a progressivement augmentée car plusieurs programmes et projets ont été mis en place pour l'amélioration de la production de l'orge, et le développement des variétés résistantes aux maladies. Depuis 2009, l'Algérie est devenue auto-suffisante en production d'orge. L'Office National Interprofessionnel des Céréales (OAIC) a été autorisé par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural à exporter une partie de la production record d'orge de 2009. C'est la première fois, depuis 1970, que l'Algérie se positionne sur le marché international pour écouler sa production. En revanche, la récolte céréalière de 2010 a été affectée par une baisse importante de la production d'orge à cause d'une reconversion de certaines zones de cette céréale au profit du blé et du déficit pluviométrique dans plusieurs régions à forte production (**Anonyme, 2010**).

### **1.8. Importance et utilisation de l'orge**

A l'échelle mondiale, l'orge est utilisée comme aliment pour le bétail et en alimentation humaine. Dans les régions tropicales et subtropicales, c'est surtout pour l'alimentation humaine qu'elle est produite. En Ethiopie et en Erythrée, la plus grande partie de l'orge en grains sert à confectionner un pain local mais aussi bien des bouillies et des soupes que des boissons alcoolisées (**Ceccarelli et Grando, 2006**). En Algérie, l'orge était destinée à l'autoconsommation humaine et servait de complément fourrager pour les troupeaux dans les régions steppiques (**Hakimi, 1993**). C'est une espèce fourragère importante par sa production en vert, en foin (en association avec d'autres espèces), en ensilage et par son grain et sa paille (**Belaid, 1986**). Dans toutes les régions, du nord au sud, elle reste l'une des plus importantes ressources fourragères (**Boulal et al., 2007**).

Actuellement, l'orge est utilisée dans l'alimentation humaine selon les régions sous formes de galette, de couscous et de soupe (**Rahal-Bouziane et Abdelguerfi, 2007**).

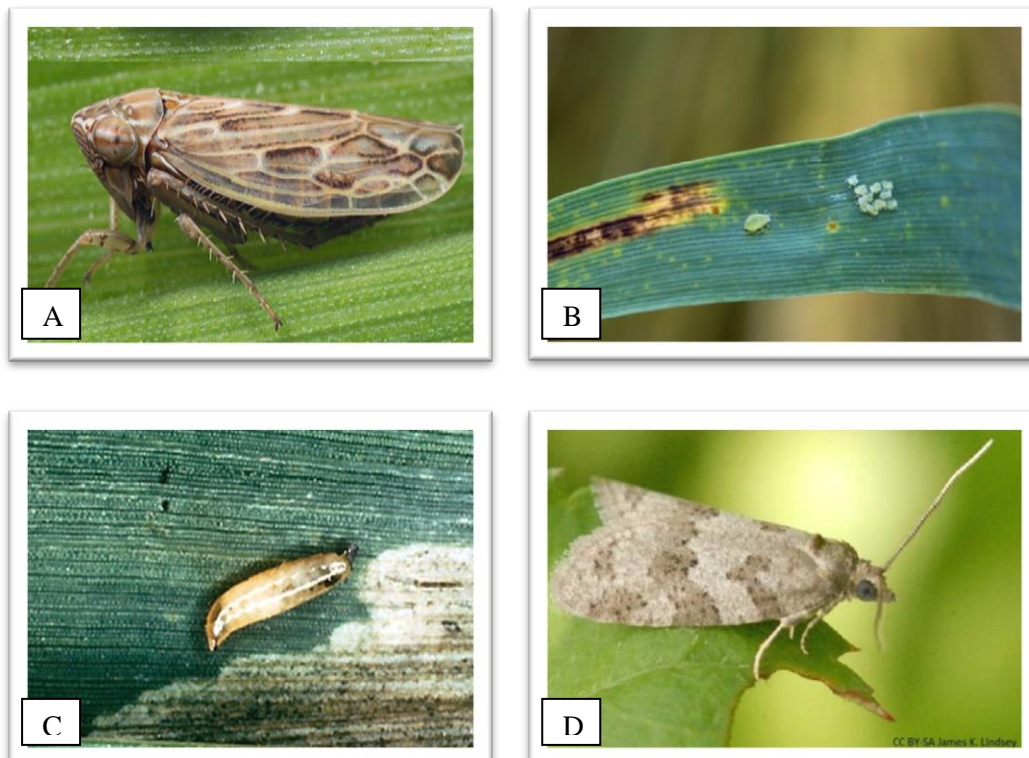


## 1.9. Ravageurs et maladies cryptogamiques de la culture d'Orge

### 1.9.1. Les ravageurs

La culture d'orge est sujette à de nombreux ravageurs (**Fig. 4**) qui affectent considérablement le rendement, parmi les ravageurs qui causent des dégâts importants on trouve:

- La cicadelle des céréales: cet insecte (*Psammotettix alienus*) touche exclusivement les graminées, en particulier le blé, l'orge, l'avoine, et certaines graminées adventives.
- La tordeuse des céréales: le papillon touche essentiellement les graminées, les légumineuses et le lin.
- La mouche mineuse des céréales: la mouche mineuse des céréales, *Agromyza nigrella*, touche essentiellement les graminées.
- Le puceron vecteur de la jaunisse nanissant des céréales: ce puceron, *Rhopalosiphum padi*, est le principal vecteur de plusieurs maladies à virus des céréales et notamment la jaunisse nanissant qu'il transmet lors des piqûres de nutrition [4].



**Figure 4:** Quelques ravageurs affectant la culture d'orge

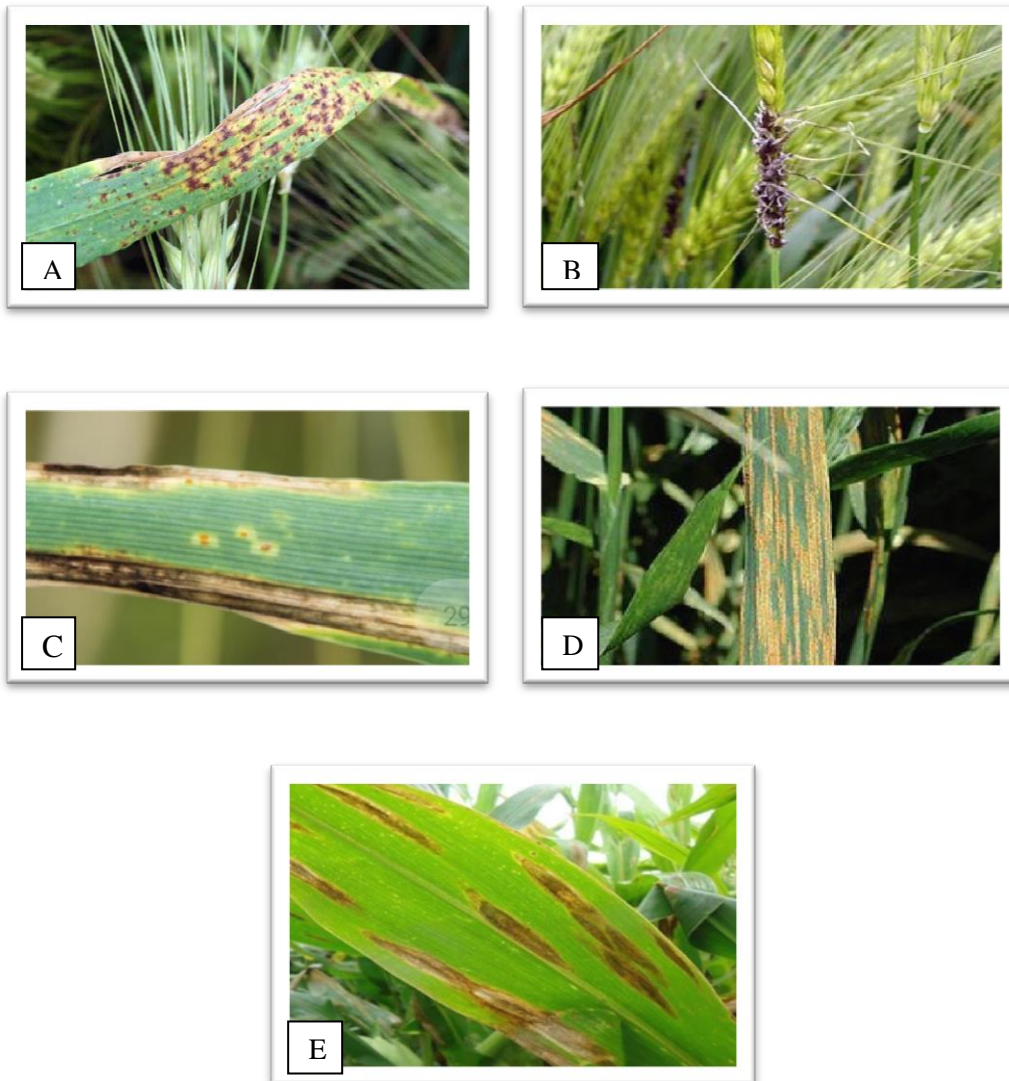
A (Cicadelle), B (Puceron), C (Mouche mineuse) et D (Puceron des épis) [4]

### 1.9.2. Les maladies cryptogamiques

Les maladies cryptogamiques constituent la contrainte biotique majeure de la culture de l'orge. Des prospections organisées en Algérie ont permis de recenser les maladies de l'orge les plus fréquentes en particulier la rayure réticulée (*Pyrenophora teres*), et la strie foliaire (*Pyrenophora graminea*). Leur incidence varie entre 11 et 80% (Tab. 4 et Fig. 5). Quant aux autres maladies telles que l'oïdium, la rouille brune et le charbon nu leur incidence et leur sévérité sont plus faibles (Sayoud et Benbelkacem, 1996).

**Tableau 4:** Principales maladies fongiques de l'orge recensées en Algérie  
(Sayoud et al., 1999)

Maladies (agents pathogènes)	Organes touchés	Symptômes	Moyens de lutte
Oïdium ( <i>Erysiphe graminis hordei</i> )	Graines Feuilles glumes	Coloration jaune de feuilles qui se recouvrent par la suite d'un feutrage blanc	Désinfection des semences avec fongicide systémique.
Charbon couvert de l'orge ( <i>Ustilago hordei</i> )	L'épi	Les glumes des épis ne sont pas entièrement détruites	Rotation des cultures. Traitement de semences.
Charbon nu d'Orge ( <i>Ustilago nuda</i> )	L'épi	Les épis sont totalement détruits	Désinfection avec fongicide systémique.
Rhynchosporiose ( <i>Rhynchosporium secalis</i> )	Feuilles, tiges	Taches assez irrégulières bordées de couleur brunâtre et sèche au centre	Variétés résistantes, traitement avec fongicide au stade végétatif
Rayure réticulée ( <i>Pyrenophora teres</i> )	Feuilles	Taches en réseau de stries longitudinales formant des rayures brunes foncées, entourées de zones chlorotiques.	Variétés résistantes
Strie foliaire ( <i>Pyrenophora graminea</i> )	Feuilles	Stries longitudinales jaunes pâles parallèles aux nervures.	Variétés résistantes
Rouille brune ( <i>Puccinia hordei</i> )	Feuilles et tiges	Pustules brunes sur feuilles devenant noires par la présence des téléospores	Traitement avec fongicide. Variétés résistantes
Jaunisse nanisante (Virus BYDV)	Plante entière	Rabougrissement des plantes, jaunissement des feuilles, grains petits, ridés et de mauvaise qualité	Variétés résistantes. Lutte contre les vecteurs (pucerons)



**Figure 5:** Symptômes des quelques maladies cryptogamiques de l'orge (Sayoud *et al.*, 1999)

A (Rouille brune), B (Charbon nu), C (Helminthosporiose), D (Rouille jaune),

E (Rhyncosporiose)

*Chapitre 2:*  
*Salinité et plantes*

## **2.1. Définition**

La salinité peut être définie comme étant un processus pédologique suivant lequel le sol s'enrichit anormalement en sels solubles acquérant ainsi le caractère salin (**Gregor, 2005**). Un sol salé est caractérisé par un surplus de sels est en particulier l'ion  $\text{Na}^+$  dans le profil racinaire (**Schut, 1996**).

Après la sécheresse, la salinité du sol et de l'eau est le second important facteur limitant la croissance et le développement des cultures des régions arides et semi-arides. Ce phénomène touche déjà près de 19% des terres agricoles sous cultures, et il est en constante augmentation (**El-Hendawy et al., 2005**).

## **2.2. Les sols salés**

Les sols affectés par les sels peuvent contenir des concentrations des sels solubles élevée pour avoir un effet sur la croissance des cultures, la teneur en sel est exprimée par la conductivité électrique d'un extrait du sol mesurée à une température de référence de 25°C (**El Mokh et Negaze, 2015**).

Selon la nature et la quantité de sels que contiennent les sols, ils sont classés comme étant salin, salin sodique et sodiques ou alcalin. Les sols salins ou halomorphes contiennent des sels de Ca, Mg et Na. Ces sels solubles sont présents en quantités importantes mais la quantité du  $\text{Na}^+$  échangeable n'est pas assez élevée pour modifier les propriétés des sols. La conductivité électrique de l'extrait saturé de ces sols est généralement supérieure à 4 dS  $\text{m}^{-1}$ , et le pourcentage de  $\text{Na}^+$  échangeable est inférieur à 15, alors que le pH se situe dans la tranche des 7.0 à 8.5. Ces sols sont très floкулés, ayant une capacité d'infiltration et une perméabilité égales ou supérieures à celles des sols non salins (**Bresler et al., 1982**).

Les sols sodiques ou alcalins ne contiennent pas de quantités appréciables de sels solubles. Le pourcentage de  $\text{Na}^+$  échangeable est supérieur à 15, ce qui affecte la croissance des cultures. La conductivité électrique de l'extrait saturé de ces sols est inférieure à 4 dS  $\text{m}^{-1}$ , alors que le pH se situe dans la tranche des 8.5 à 10.5. Par contre les sols salin-sodiques ont un excès de sels solubles et de Na échangeable (**Bresler et al., 1982**).

### **2.2.1. Origine des sols salés**

La salinisation d'un milieu peut être d'origine naturelle, dénommée primaire, ou anthropique, généralement liée à l'irrigation, appelée secondaire (**Cherby, 1991**).

#### **2.2.1.1. Salinisation primaire**

La salinisation primaire est un phénomène naturel. Les causes peuvent être climatique (steppes continentales) ou géochimique (Mares salées Lorrain) (**Schwartz, 2007**). 80% des terres salinisées ont une origine naturelle. La salinisation primaire est due aux sels se formant lors de l'altération des roches ou à des apports naturels externes (**Mashali et al., 2005**). La plupart des sols salins-sodiques se sont développés suite aux processus géologiques, hydrologiques et pédologiques naturels (**Wanjogu et al., 2001**).

Durant les périodes de sécheresse, l'eau et les électrolytes qu'elle contient remontent par capillarité. L'eau s'évapore, les sels vont s'accumuler en surface pour être à nouveau lessivés par la pluie. La présence naturelle de sels tel que NaCl, NaSO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub> sur d'importantes surfaces du globe contribue de manière remarquable à la salinisation des sols arables et exerce un effet dépressif sur la croissance des plantes, à partir d'un certain seuil, qui varie d'une espèce à l'autre (**Lopez, 1996**).

#### **2.2.1.2. Salinisation secondaire**

Cette salinisation est due à une mauvaise conduite de l'irrigation. En effet, les eaux peuvent être chargées en sels qui s'accumulent dans le sol. Une fertilisation chimique excessive contribue aussi à une accumulation des sels dans la rhizosphère (**Mouhouche et Boulassel, 1999**).

La salinisation anthropique se produit par des activités humaines autres que l'irrigation et inclue par exemple, la déforestation des bassins versant (**Le Houérou, 1986**) comme cause important de salinisation et d'alcalinisation des sols en raison des effets de la migration des sels dans les couches supérieures et inférieures. De même, le surpâturage a également sa part de responsabilité, pratiqué essentiellement au niveau des régions arides et semi arides, le couvert subit une pression anthropozoïque importante provoquant une nette dégradation de la végétation, une érosion avancée et par conséquent, la salinisation se développe tendant vers la désertification dans la plupart des cas (**Szabolcs, 1992**).

### **2.3. Localisation géographique des sols salés**

Les sols salés se localisent dans des régions où les facteurs de l'environnement comme les températures élevées, la sécheresse...joue un rôle important dans la formation de ces sols. Ils existent principalement sous les climats secs (semi désertique, steppique, tropical sec) où la forte évaporation limite le drainage, sous les climats arides en bordure des dépressions salées sub-désertiques (sebkhas et chotts en Afrique du Nord, playas en Amérique du Sud, takyr en Asie centrale), dans les grandes vallées irriguées (Nil, Euphrate, Colorado, vallées du Moyen-Orient) et sous les climats humides en bordure de mer (polders et marais côtiers en climat tempéré, mangroves en climat tropical humide et équatorial) (**Bondy, 1993**).

## **2.4. Salinité dans le monde et en Algérie**

### **2.4.1. Dans le monde**

A l'échelle mondiale, les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent un grand problème pour l'Agriculture. Leur distribution géographique se superpose presque entièrement à celle des zones arides et semi arides et des zones côtières (**Durand, 1983 ; FAO, 2005**). La surface affectée par la salinité dans le monde est évaluée à 954,8 millions d'hectare (**Tab. 5**), soit 23% des terres cultivées (**FAO, 2008**). Les terres salées et sodiques représentent 98.5 millions d'hectares en Afrique (**Le Houérou, 1992**). Presque toutes ces superficies se trouvent en zone aride et semi- aride (**Fig. 6**), il y a d'autre part 11.5 millions d'hectares irrigués en Afrique, pour la plus grande partie en zone aride (Egypte 2,6 ; Maroc 1,3 ; Afrique du Sud 1,1 ; Soudan 1,9 million d'ha), environ 15 000 hectares sont stérilisés annuellement par la salure secondaire et la sodisation, résultant essentiellement d'un drainage défectueux, y compris par l'utilisation d'eau très peu salée comme celles du Niger, du Sénégal ou du Nil (moins de 0,1 g/l) (**Le Houérou, 1995**). Un classement des zones arides basé sur les valeurs du rapport ratio précipitation annuelle/évapotranspiration potentielle moyenne annuelle a été proposé par **Wri (2002)**, le monde est de ce fait, divisé en :

- ✓ Zone hyper aride couvrent environs 11 millions de kilomètres carrés, soit 80% des terres totales et elle correspond principalement au désert du Sahara.
- ✓ Zones arides semi-arides et subhumides sèches qui couvrent près de 54 kilomètres carrés principalement concentrées en Asie et Afrique.

Tableau 5: Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008)

Région	Superficie (millions d'hectares)
Afrique	80,5
Europe	50,8
Amérique du Nord	15,7
Amérique du Sud	129,2
Australie	357,3
Mexique et Amérique centre	2
Asie du Sud Est	20
Asie du centre et du Nord	211,7
Asie du sud	87,6
Total	954,8

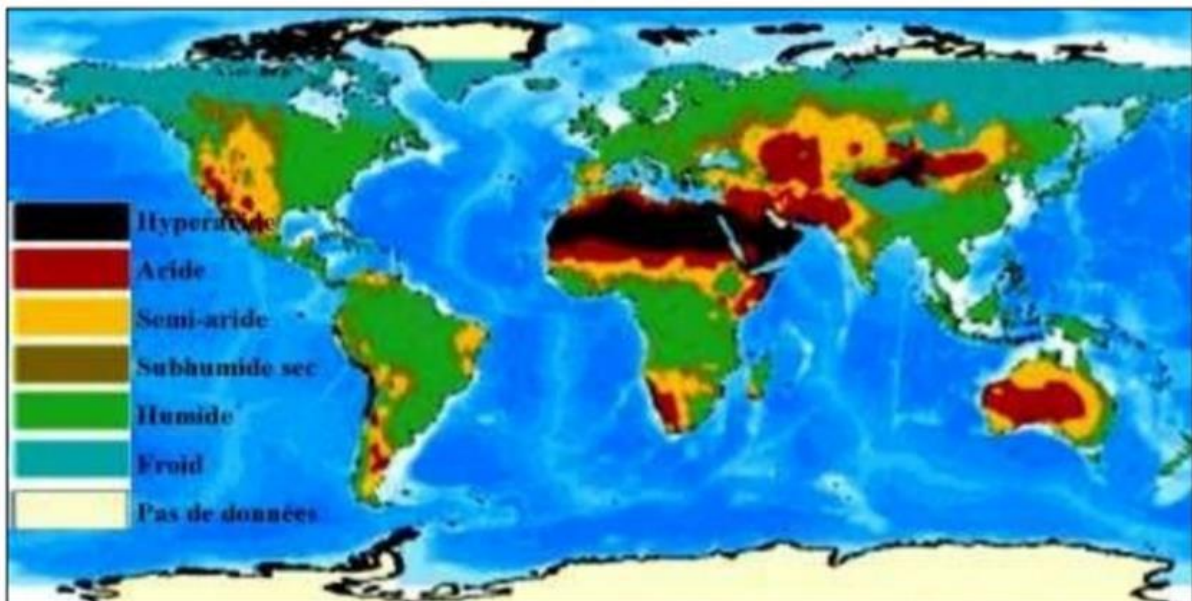


Figure 6: Carte des zones arides semi arides dans le monde (White et al., 2003)

#### 2.4.2. En Algérie

En Algérie, une grande partie des régions agricoles caractérisées par un climat aride et semi-aride, représentées par 3,2 millions d'hectares sont menacées par le processus de salinité (Belkhodja et Bidai, 2004). Plus de 20% des sols irrigués en Algérie sont touchés par le problème de salinité (Douaoui et Hartani, 2007).



La majorité du territoire Algérien est représenté par des zones steppiques et saharienne, ce sont respectivement des zones semi-arides et arides, leur superficie couvre près de 95% du territoire. Les sols salés sont très répandus dans ces régions représentant environ 25% de la surface cartographiée (**Halitim, 1988**). La carte des sols de l'Algérie révèle que dans les régions Est, particulièrement dans le Constantinois, les sols salés sont bien représentés et montre aussi que les sols situés au Sud sont nettement plus sodiques que ceux du Nord (**Djili et Daoud, 2000**).

## **2.5. Stress salin et ses effets sur les plantes**

### **2.5.1. Définition**

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

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**).

La réaction d'une plante face un stress commence par la perception puis la transduction des signaux par des messagers afin d'activer les gènes de réponse et activer les réponses physiologiques et métaboliques nécessaires pour maintenir la viabilité (**Yamaguchi et Blumwald, 2005**).

### **2.5.2. Effet du stress salin sur les plantes**

#### **2.5.2.2. Effet sur la morphologie de 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 (**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., 2000**).

D'une manière générale; l'entrée du sel dans la plante retarde la croissance des pousses et l'émergence des nouvelles feuilles, réduit la longueur des feuilles et des coléoptiles et diminue la hauteur et le nombre de talles (**Brahimi, 2017**).

### **2.5.2.2 Effet sur les processus physiologiques de la plante**

Un excès de sel dans le protoplasme conduit à des modifications dans la balance ionique entraîne une faible production d'énergie par les réactions de phosphorylation et photo respiration. L'assimilation de l'azote et de nombreuses voies métaboliques sont perturbés. Si la concentration en sel excède le niveau de tolérance de la plante, des perturbations fonctionnelles apparaissent au niveau de la photosynthèse, par effet du sel dans le stroma des chloroplastes qui perturbe le transport des électrons. La glycolyse et le cycle de Krebs sont aussi affectés. L'acquisition de substances minérales, comme le potassium, les nitrates ou le calcium sont également réduites. La plante montre alors des signes de stress par la production d'anthocyanes ou la destruction de la chlorophylle. Si chez certaines halophytes, la croissance est stimulée par un apport modéré de sel, ce phénomène reste limité par un niveau de tolérance. Des stress extrêmes conduisent au nanisme et à l'inhibition de la croissance. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir terminées leur croissance et développement, et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite (**Ben-Hayyim et al., 1989**).

### **2.5.2.3. Effet sur la germination des graines**

L'excès de sel dans la solution du sol affecte grandement le processus germinatif des graines de nombreuses espèces végétales, en diminuant la vitesse d'entrée et la quantité d'eau absorbée par les graines et en augmentant la pénétration d'ions qui peuvent s'accumuler dans les graines à des doses qui deviennent toxiques. Cet effet de sel se traduit par une augmentation de la durée du processus de germination et par conséquent retarde la levée (**Khan et al., 2009**).

De nombreuses études dont celle de **Kadri et al. (2009)**, effectuée sur quelques accessions d'Orge a révélé une diminution du pourcentage de germination en fonction de l'intensité du stress et de l'accession elle-même comparativement aux témoins.

La survie des plantes, dans un milieu donné, dépend en grande partie de leur réaction au stade de germination et aussi à l'intra spécificité variétale. L'étude de **Garthwaite et al. (2005)**, menée sur deux espèces de céréales, blé dur et orge exposés aux différents niveaux du stress salin, révèle que le blé dur est plus sensible au NaCl au stade percé de la radicule et l'émergence de la coléoptile que l'orge, qui lui a montré une résistance marquée à ce stade. La sensibilité de l'orge est plus prononcée au stade plantule et montre une tolérance aux stades plus tardifs [5].

L'effet du stress salin sur la germination peut être attribué soit à un effet osmotique et/ou une toxicité des ions spécifiques à l'émergence de la radicule ou le développement des semis (**Huang et Redman, 1995**).

#### **2.5.2.4. Effet sur le comportement hydrique de la plante**

La présence d'une concentration de sel élevée dans la solution du sol a pour conséquence la diminution du potentiel hydrique total du sol, et par la suite une augmentation de la résistance à l'interface sol-racine (**Shainberg, 1975**). De même la perméabilité hydraulique des racines diminue suite à l'augmentation de la résistance rencontrée par l'eau, ce qui conduit à une réduction de la disponibilité en eau dans le sol et une diminution du potentiel hydrique foliaire, qui déclenche la fermeture des stomates de façon à faire accroître la résistance stomatique pour le contrôle de la transpiration. La présence de sels dans la solution de sol perturbe aussi le fonctionnement hydrique de la plante par ses effets sur le trajet de circulation de l'eau dans les différentes parties de la plante (**El Mokh et Nagaz, 2015**).

#### **2.5.2.5. Effet sur la croissance et le développement**

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (**Bouaouina et al., 2000**). Il a été prouvé que les concentrations excessives de sels dans le sol réduisent les concentrations du  $Mg^{+}$ ,  $K^{+}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $P$  et  $Ca^{2+}$  dans la plante ce qui cause un déséquilibre nutritionnel affectant ainsi la nutrition minérale de la plante et rendant l'acquisition des éléments minéraux indispensables pour la croissance difficiles en présence de sel (**Levit, 1980**).

La salinité affecte également la croissance des racines ce qui perturbe certaines fonctions vitales pour la plante comme l'absorption des éléments minéraux nécessaires (**Jabnoue, 2008**). Elle ralentit aussi la croissance foliaire et réduit le développement latéral des tiges, la

taille et le nombre de feuilles, des fruites, des graines et des poids sec et humide de différentes parties de la plante (Maas et Hoffman, 1977).

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 l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (Levigneron et al., 1995).

#### **2.5.2.6. Effet sur la photosynthèse**

La photosynthèse est particulièrement sensible aux stress environnementaux notamment le stress salin. Greenway et Munns (1980), ont suggéré que la salinité affecte en premier lieu la croissance de la plante puis la photosynthèse, causant ainsi une réduction de la capacité photosynthétique. Chez les glycophytes, la présence continue de NaCl dans le milieu de culture entraîne une augmentation d'une part de l'épaisseur des limbes (ce qui deviendrait un élément limitant dans la porosité stomatique) et d'autre part de la vitesse d'ouverture des stomates. D'autres auteurs ont rapporté une diminution de l'assimilation photosynthétique sous conditions de stress salin, cela peut être due à la fermeture des stomates, qui entrave l'entrée du CO<sub>2</sub> dans les feuilles et par conséquent une diminution de la concentration intracellulaire en CO<sub>2</sub> et une réduction dans la synthèse des photoassimilats (Farissi et al., 2014). De même Munns (1993), a considéré que l'accumulation de carbone par les plantes serait affectée par la salinité à cause d'une réduction de l'indice foliaire plutôt que du taux de la photosynthèse. Le sel peut également provoquer des modifications dans la densité des stomates, du nombre et du diamètre des vaisseaux du xylème chez les halophytes, ou accélérer le cycle biologique avec changement de la voie métabolique de fixation du carbone (Levigneron et al., 1995).

#### **2.5.2.7 Effet sur le rendement**

La tolérance de la culture à la salinité varie d'une espèce à une autre. En effet, certaines cultures peuvent produire des rendements acceptables à des taux élevés de la salinité du sol que d'autres. Elles sont plus aptes à procéder aux ajustements osmotiques leur permettant d'extraire d'avantage l'eau d'un sol salin. Si les plantes ne peuvent pas réaliser cet ajustement, les rendements sont alors réduits. Ainsi, il paraît utile de connaître les impacts de l'eau saline sur les rendements des cultures dans le but de bien sélectionner et de donner préférence aux cultures qui s'adaptent mieux dans les régions où les concentrations en sels des eaux d'irrigation sont élevées (El mokh et Negaze, 2015).

## 2.6. Mécanismes de résistance des plantes face au stress salin

### 2.6.1. Exclusion et inclusion d'ions

L'accumulation des ions est le mécanisme primaire utilisé chez les halophytes à un niveau haut de salinité par la compartimentation des ions dans la vacuole (**Omami, 2005**). Cette compartimentation est effectuée par un enzyme anti-sel  $\text{Na}^+ / \text{H}^+$  inductible par le sel (**Apse et al., 2003**). L'inclusion d'ions dans le cytoplasme peut conduire à un ajustement osmotique qui est généralement accepté comme une adaptation importante à la salinité (**Hanana et al., 2009**). L'exclusion des ions est effectuée à un niveau bas ou modéré de salinité chez les glycophytes, en limitant l'absorption du  $\text{Na}^+$  par la pompe  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  ATPase antiport qui exporte les ions  $\text{Na}^+$  hors de la cellule, ou en favorisant sa répartition dans les tissus âgés comme les feuilles qui vont être par la suite éliminées par abscission (**Omami, 2005**).

### 2.6.2. Synthèse des solutés compatibles

L'un des aspects de l'ajustement osmotique en réponse à un stress salin est l'accumulation des solutés organiques au niveau du cytoplasme des cellules végétales, afin de maintenir une bonne pression osmotique intracellulaire et éviter la perte d'eau (**Mazliak, 1995**). Entre protéines et sucres, les plantes se comportent différemment dans l'accumulation des solutés, chaque espèce accumule un genre particulier de soluté. Les solutés compatibles comprennent principalement la proline et la glycine bêtaïne (**Girija et al., 2002**). Ces composés sont rapportés pour fonctionner dans l'ajustement osmotique, la protection des macromolécules cellulaires et le piégeage des radicaux libres. Certains auteurs impliquent l'augmentation de l'activité enzymatique pour l'hydrolyse de l'amidon et la synthèse du saccharose et d'autres composés glucidiques (glucose, fructose, fructanes...). Comme solutés compatibles qui s'accumulent dans les plantes sous stress salin. D'autre part, il a été révélé que la synthèse de l'acide abscissique contribue à la croissance des plantes cultivées sous stress salin (**Strogonov, 1973**).

### 2.6.3. Induction d'antioxydants

Les plantes possèdent des systèmes efficaces pour éliminer les espèces d'oxygène actives qui les protègent des réactions oxydatives destructrices. Ces mécanismes comprennent principalement la synthèse de métabolites secondaires tels que le tocophérol, les polyphénols, les flavonoïdes, les alcaloïdes et les caroténoïdes, ces composés permettent à la cellule végétale de se protéger contre les agents agresseur provoqués par les contraintes du milieu

comme le stress salin (**Misirli et al., 2001**). la synthèse de métabolites secondaires lors d'un stress environnemental est considérée comme un mécanisme non-enzymatique qui maintient l'équilibre oxydo-reducteur de la cellule (**Leopoldini et al., 2011**). Mais aussi, elles emploient une vaste panoplie d'enzymes, telles que le superoxyde dismutase, la catalase, l'ascorbate peroxydase, la glutathion s-transérase et la glutathion peroxydase (**Munns 2005**).

#### **2.6.4. Changement dans le cheminement photosynthétique**

La réduction du taux d'assimilation photosynthétique chez les plantes soumises à la salinité est principalement due à la réduction de leur potentiel hydrique, (**Omami, 2005**). A cet effet et pour augmenter l'activité photosynthétique sous les condition du stress salin, certaines plantes telles que les halophytes facultatives remodelent leur mode photosynthétique C3 (plantes en C3) en mode CAM (Crassulaceen Acid Métabolism) (**Cushman et al., 1989**), ce changement permet à la plante de réduire ses pertes d'eau par la transpiration en ouvrant les stomates la nuit. Chez les espèces tolérantes aux sels, il y a un passage du mode photosynthétique C3 à C4 (plantes en C4) en réponse à la salinité (**Zhu et al., 2005**).

#### **2.6.5. Induction des hormones végétales**

Les effets inhibiteurs du NaCl sur la photosynthèse, la croissance et la translocation des assimilés se sont révélés être atténués par ABA qui agit sur l'ouverture et la fermeture des stomates (**Grondin et al., 2015**). De même, l'augmentation de l'absorption de  $Ca^{++}$  est associée à l'élévation de l'ABA sous stress salin qui contribue à l'entretien de l'intégrité membranaire, ce qui permet aux plantes de réguler l'absorption et le transport à des niveaux élevés de salinité externe à plus long terme (**Chen et al., 2001**). l'ABA réduit la libération de l'éthylène et provoque l'abscission des feuilles probablement en diminuant l'accumulation d'ions  $Cl^-$  toxiques dans les feuilles (**Gomez-Cadenas et al., 2002**).

*Chapitre 3:*  
*Matériel et méthodes*

### **3.1. Objectif de l'essai**

Cette expérimentation a été réalisée sur une variété d'orge (El faoura) soumise à des niveaux différents de stress salin (Na Cl) (100, 150, 200, 250 mM), et un traitement non additionné de sel constitue le témoin. Elle se fixe comme objectif l'évaluation des réponses physiologiques et biochimiques de l'orge face à la contrainte saline.

### **3.2. Présentation du site de l'essai**

L'essai a été mené au niveau de la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers de l'université 8 mai 1945 de Guelma dans des conditions semi contrôlées (au laboratoire de botanique et sous serre en PVC (serre en polycarbonate s'apparente à un verre artificiel).

### **3.3. Matériel végétal**

#### **3.3.1. Grains d'Orge**

Le matériel végétal utilisé concerne une seule variété d'orge (El faoura), appartenant à l'espèce *Hordeum vulgare* L. dont les grains sont fournis par L'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales de Guelma (O.A.I.C) (Fig. 7).



**Figure 7:** Représente les grains de la variété d'Orge testée (*Hordeum vulgare* .L)

(Photo personnelle)

#### **3. 3.2. Origine et caractéristiques de la variété étudiée**

L'origine et les caractéristiques de la variété examinée sont énumérées dans le tableau 6.



**Tableau 6** : Origine et caractéristiques de la variété étudiée (O.A.I.C., 2020)

Espèce	Variété	Type de variété	Origine	Source	Caractéristiques
<i>Hordeum vulgare</i> L.	El Fouara	Lignée pure	ICARDA (Syrie)	O.A.I.C.de Guelma	-Bonne qualité -Tallage fort -Poids de mille grains élevé -Cycle végétatif tardif.

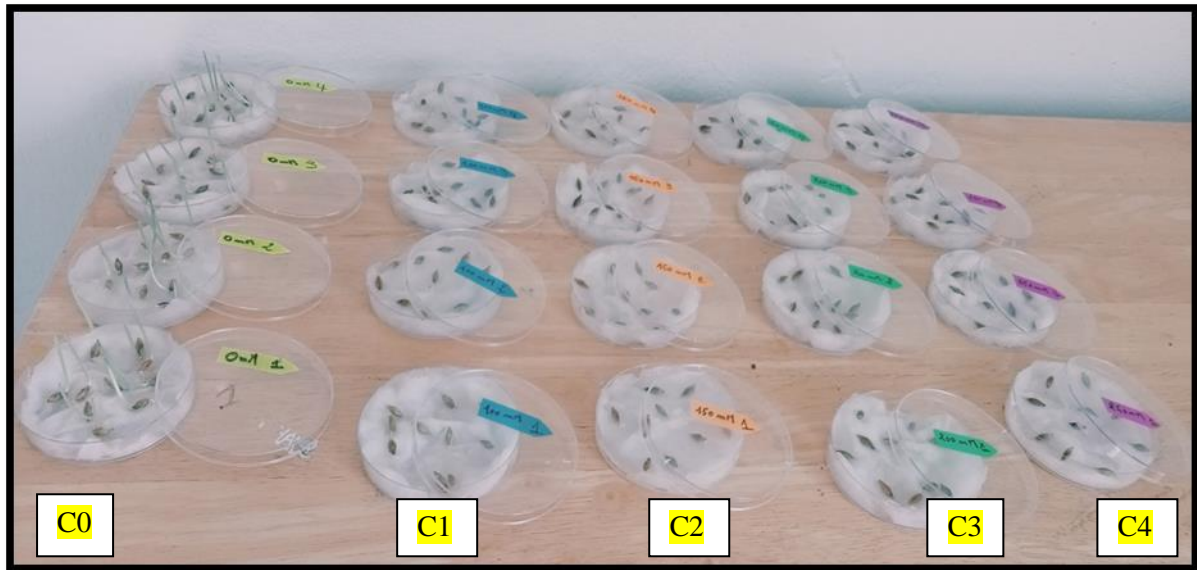
### 3.3.3. Les solutions salines (NaCl)

Dans cette expérimentation, les grains de la variété d'orge testée ont été soumis sous cinq intensités de stress salin : [0] mM (le témoin), [100] mM, [150] mM, [200] mM, et [250] mM de NaCl. Le choix de ces concentrations a été fait en se référant aux données des travaux de recherches (El Madidi et al., 2011 ; Farissi et al., 2013).

## 3.4. Installation et conduite de l'essai

### 3.4.1. Essai de germination

Les grains de la variété d'orge testée (El fouara) sont d'abord désinfectés par un lavage avec de l'hypochlorite de sodium (4°) pendant 5 min, puis rincées abondamment à l'eau distillée pour éliminer l'eau de javel ainsi que les produits de conservation ayant adhéré à la graine. Les grains d'orge sont ensuite mises à germer dans des boîtes de Pétri contenant une fine couche de coton recouverte avec du papier filtre à raison de 10 graines par boîte et en quatre répétitions par traitement en sel (Fig. 8 ; Fig. 9). Puis les boîtes sont imbibées avec de l'eau distillée additionnée de différentes concentrations de NaCl (100, 150, 200 et 250 mM) et un traitement n'ayant pas reçu de NaCl constitue le témoin (Bendire et al., 2015). Ensuite, les boîtes ont été mises au laboratoire à une température ambiante pendant 7 jours. Les observations sont faites quotidiennement pour les différentes concentrations pendant une semaine. Le pourcentage final de germination (la capacité de germination) est exprimé par le rapport suivant : nombre de graines germées /le nombre total de graines ensemencées x100 (Come, 1970). Une graine a été considérée germée lorsqu'il y a eu émergence de la racicule.



**Figure 8:** Essai de germination des grains d'Orge dans les boîtes de Pétri

(Photo personnelle)

C0	R3	R1	R4	R2
C1	R1	R4	R3	R2
C2	R4	R2	R3	R1
C3	R4	R2	R1	R3
C4	R2	R3	R1	R4

C0, C1, C2, C3, C4: Les concentrations

R1, R2, R3, R4: Les répétitions

**Figure 9:** Description du dispositif expérimental de l'essai de germination dans les boîtes de Pétri.

Trois paramètres ont été estimés pour cet essai (après 7 jours de l'application du stress):

➤ **Le taux de germination des graines (%)**

Ce paramètre est utilisé afin d'analyser la capacité germinative des graines testées.

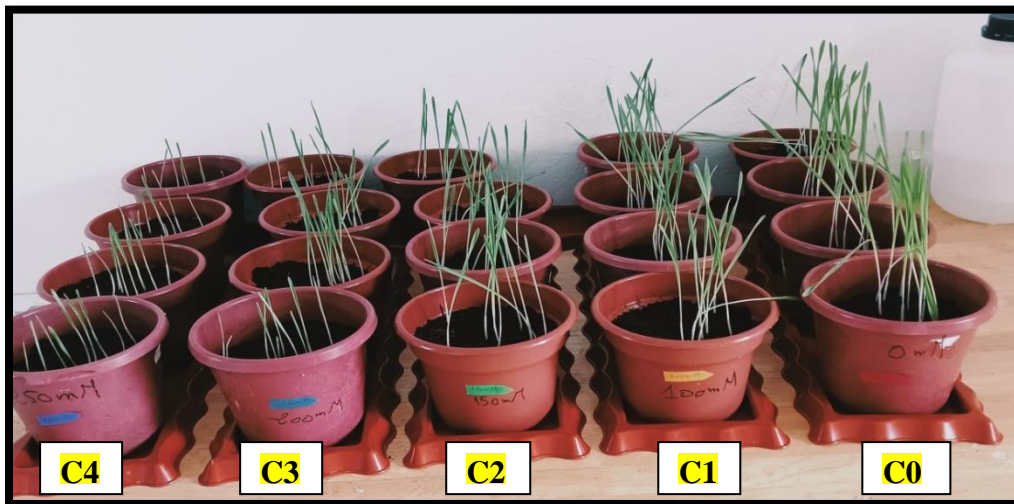
➤ **La longueur de la radicle (cm)**

➤ **La longueur de la tigelle (cm)**

### 3.4.2. Essai de croissance

L'essai de comportement des plantules sous stress salin est réalisé dans des pots de 16 cm de hauteur et 12 cm de diamètre et sous serre en plastique. Le substrat utilisé est la tourbe de sphaigne, substrat commercial fournie par le laboratoire de l'université et ses caractéristiques sont indiquées ci-dessous. Les graines de la variété testée ont été désinfectées avec de l'hypochlorite de sodium (4°) et rincées abondamment à l'eau distillée pour éliminer l'excès de l'eau de javel, puis elles sont mises en culture dans les pots à raison de 10 graines par pot à une profondeur de 2 cm (**Fig. 10**).

Un arrosage tous les deux jours est opéré par les différentes solutions saline jusqu'à la fin de l'expérimentation. Les plantules témoins ont été arrosées régulièrement par de l'eau distillée. L'expérimentation a duré 21 jours. Le dispositif expérimental adopté comprend quatre répétitions (**Fig. 11**).



**Figure 10:** Essai de croissance dans les pots et sous serre en plastique (photo personnelle)

C0	C1	C2	C3	C4
R1	R3	R4	R2	R1
R3	R2	R1	R4	R4
R4	R1	R2	R3	R3
R2	R4	R3	R1	R1

**Figure 11:** Description du dispositif expérimentale de l'essai de croissance dans les pots et sous serre

### 3.4.3. Caractéristiques de substrat

Le substrat de base (tourbe de sphaigne) est caractérisé par :

- Un taux de matière sèche exprimée en pourcentage en masse de produit brute : 35%
- Un taux de matière organique exprimée en pourcentage en masse de produit brute : 35%
- pH (H<sub>2</sub>O): 5.8-6.8
- Résistivité : 25000 Ohm /cm
- Rétention en eau : 80 vol %

#### **3.4.4. Irrigation**

L'irrigation est effectuée avec les différentes concentrations salines pour les plantules soumises au stress salin et à l'eau distillée pour l'échantillon non exposé à la contrainte saline. Elle est faite en fonction de la capacité de rétention du substrat (la tourbe pour les pots et le coton et le papier filtre pour les boîtes de Pétri) qu'est déterminer par la différence entre la quantité d'eau apporté avant l'arrosage et celle récupéré après décantation (24h pour la tourbe et 4h pour le substrat en boîte de Pétri).

#### **3.4.5. Paramètres estimés**

##### **3.4.5.1. Hauteur des plantes**

La hauteur des plantes pour les différents traitements salins a été mesurée après 21 jours de l'application du stress, à l'aide d'un mètre ruban (cm) depuis le collet jusqu'à l'extrémité de la partie aérienne.

##### **3.4.5.2. Longueur de la racine principale**

La longueur de la racine principale a été déterminée pour chaque concentration de NaCl à l'aide d'un mètre ruban à partir du collet jusqu'à son extrémité inférieure.

##### **3.4.5.3. Détermination de la biomasse aérienne et souterraine**

A la fin de l'expérimentation les plants sont déposés soigneusement, pour garder le maximum de masse racinaire, on lave la partie racinaire pour éliminer les particules indésirables. La partie aérienne est séparée du système racinaire à l'aide d'une lame au niveau du collet. Puis les deux organes sont enveloppés par du papier aluminium préalablement taré. Le poids frais de la partie aérienne et racinaire a été mesuré à l'aide d'une balance de précision. Quant au poids sec des deux parties, il est déterminé après passage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures (**karoune, 2017**).

#### **3.4.5.4. La surface foliaire SF**

La surface moyenne de la feuille la plus développée (avant dernière feuille: la plus jeune adulte feuille), est déterminée à partir d'un échantillon de dix plantules par traitement, par la formule suivante:

$$\text{SF (cm}^2\text{)} = L \times I \times 0,709$$

L: la longueur moyenne des limbes des 10 feuilles

I: la largeur moyenne des limbes des 10 feuilles

0,709 représente le coefficient de correction, étant donné que la feuille a une forme triangulaire (Mefti *et al.*, 2008).

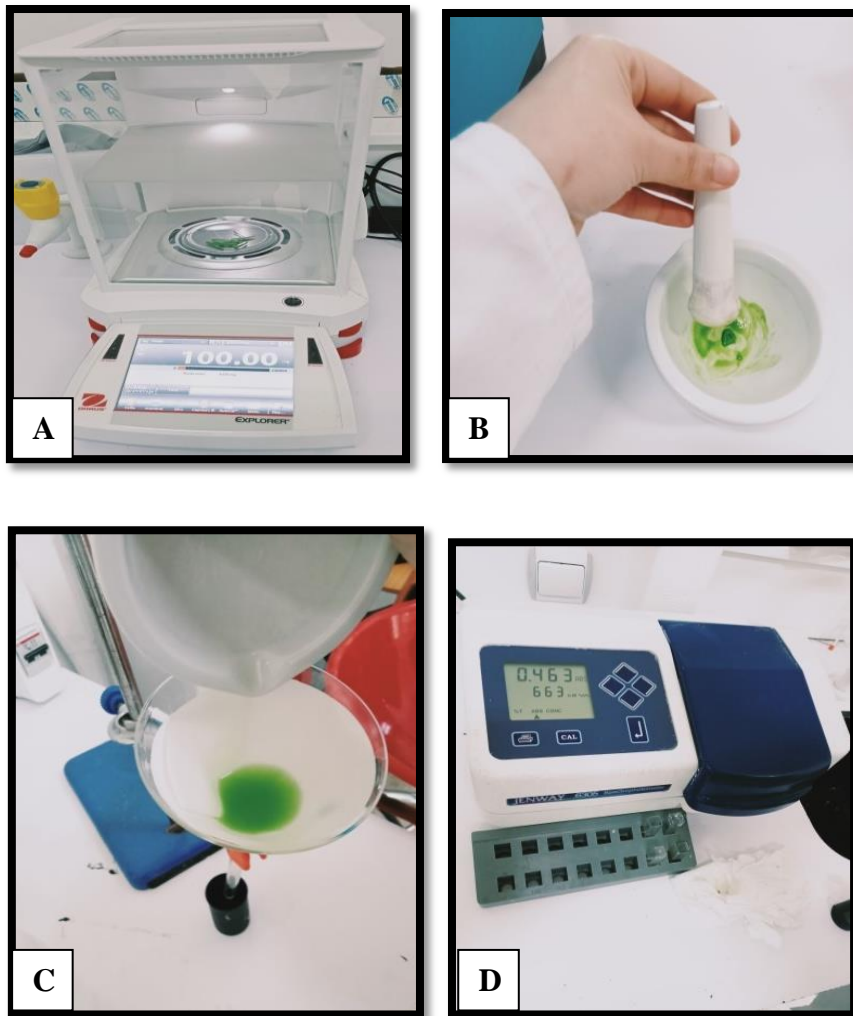
#### **3.4.5.5. Dosage de chlorophylle**

Le dosage de la chlorophylle a été réalisé selon la méthode de Rao et blanc (1956), qui consiste à peser 100 mg de feuilles fraîches de chaque échantillon. Puis la broyer dans un mortier en ajoutant une pincée de carbamates de calcium (CaCo<sub>3</sub>) pour neutraliser l'acidité vacuolaire et faciliter l'extraction de la chlorophylle et 20 ml d'acétone à 80%, ensuite on procède à la filtration de la solution obtenu. Avant la lecture spectrophotométrique, la solution chlorophyllienne est conservée dans des boîtes noires afin d'éviter la photo oxydation.

La densité optique (D.O.) des extraits chlorophylliens est lue, sur un spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes suivantes: 645 nm et 663 nm (Fig. 12).

La teneur en chlorophylle totale (a+b) est calculée selon la formule suivante:

$$\text{Chl a+b} = 8,02 (\text{DO } 663) + 20,20 (\text{DO } 645)$$



**Figure 12:** Quelques étapes de dosage de la chlorophylle (**photo personnelle**)

A: Préparation des pesées, B: Extraction des pigments chlorophylliens,

C: Filtration de la solution chlorophyllienne, D: Mesures spectrophotométriques.

#### 3.4.5.6. Dosage des sucres solubles

La teneur en sucres solubles dans les feuilles a été mesurée selon la méthode de **Dubois et al. (1956)**, qui consiste à mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai puis ajouter 2 ml d'éthanol à 80%. Laisser les tubes fermés au repos pendant 48 h. Faire évaporer l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain Marie à 70° C. Après refroidissement, un volume de 20 ml d'eau distillée est ajouté dans chaque tube à essai. Prendre 1 ml de la solution et ajouter 1 ml de phénol à 5% et bien agiter. Ajouter 5 ml d'acide sulfurique concentré dans chaque tube à essai puis les passer au vortex, les laisser au repos

pendant 10mn puis les passer au bain Marie pendant 15 mn à 30°C. Procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm.

La détermination de la teneur en sucres solubles est réalisée selon la formule:

$$\text{Sucres solubles } (\mu\text{g/g MF}) = \text{DO } 490 \times 1,657$$

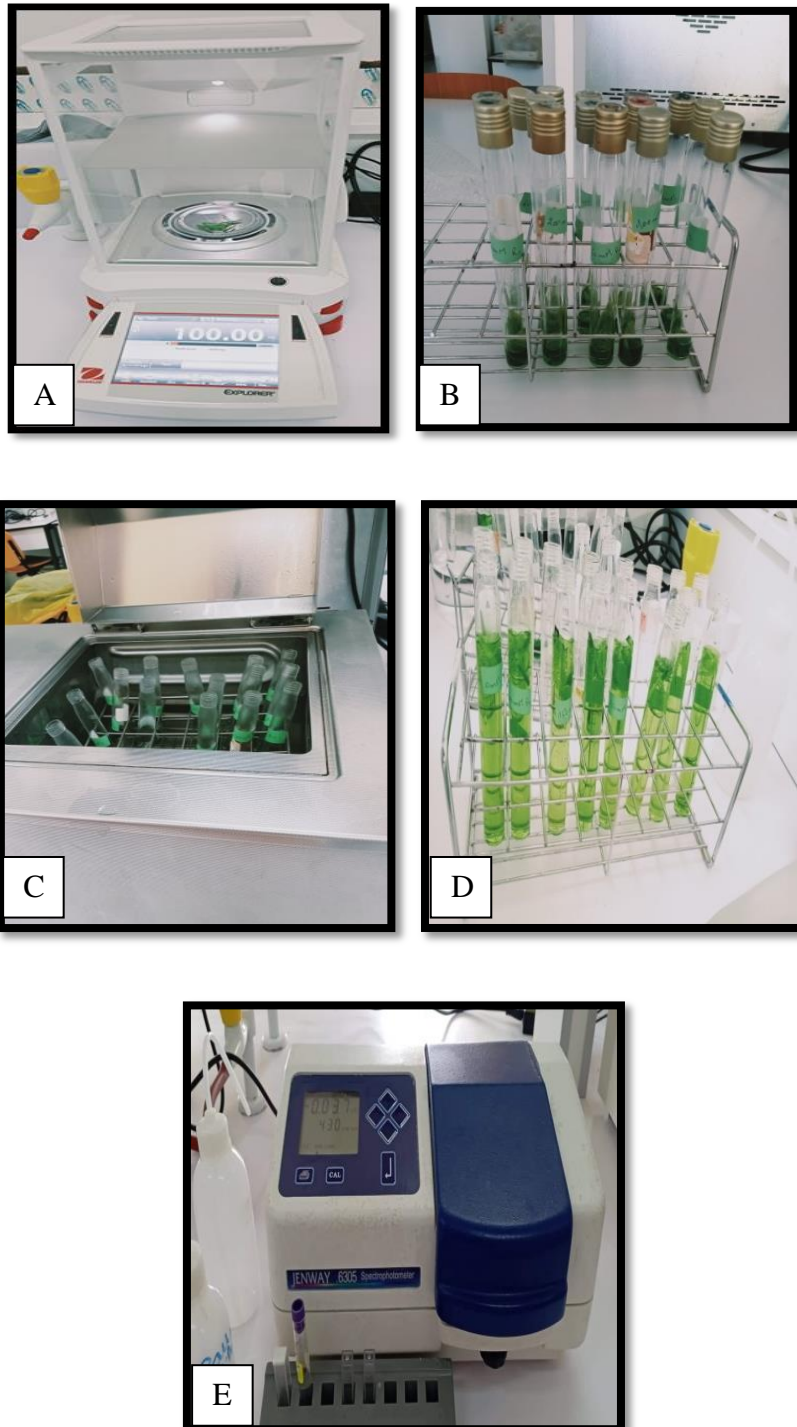


Figure 13 : Quelques étapes de dosage des sucres solubles (photo personnelle)

A: Préparation des pesées, B:Ajout de 2ml d’Ethanol (80%)

C: Evaporation de l’alcool dans un bain marie, D: Ajout de 20 ml d’eau distillée

E: Dosage spectrophotométrique

### **3.5. Traitement statistique des résultats**

Afin de déterminer la significativité des traitements appliqués sur les différents paramètres étudiés, nous avons procédé à une analyse statistique de la variance et à la comparaison des moyennes pour déduire la différence entre le témoin et les différentes concentrations en utilisant le logiciel Minitab 2018.



***Chapitre 4:***  
***Résultats et discussion***

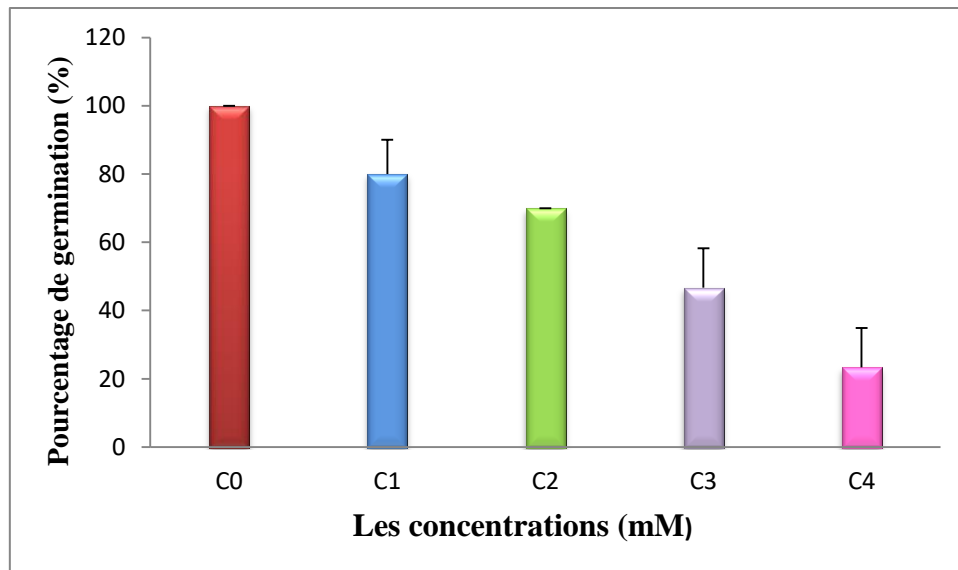
## **4.1. Essai de germination dans les boites de Pétri**

### **4.1.1. Pourcentage de germination des graines**

La figure 14 montre que le stress salin affecte négativement le pourcentage de germination des graines soumises à des concentrations croissantes de Na Cl et ce pour les différents traitements appliqués en comparaison avec le témoin non traité. Une diminution du taux de germination a été enregistrée au fur à mesure que la concentration du NaCl augmente dans le milieu d'où nous avons noté un pourcentage de 27,5% pour la concentration 250 mM contre 100% pour le témoin.

Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par **Alam et al., (2005)**, sur quelques géotypes de riz cultivés sous stress salin, ces auteurs mentionnent que le taux de germination baisse significativement à mesure que la concentration en sel augmente. De même **Djerah et Oudjehih (2015)**, ont rapporté une réduction du taux final de germination des grains d'Orge traités par des concentrations croissantes de NaCl. Le retard du processus germinatif rencontré chez les plantes exposées à des niveaux croissants du stress salin est expliqué par le temps nécessaire à la graine de mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne (**Bliss et al., 1986**). Alors que **Bekhouch (1992)**, a expliqué que, ce retard pourrait être dû à l'altération des enzymes et des hormones qui se trouvent dans la graine en germination.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé une différence significative entre les concentrations ( $p < 0.000$ ) donc il y'a un effet de sel sur ce paramètre (**Annexe 01**).



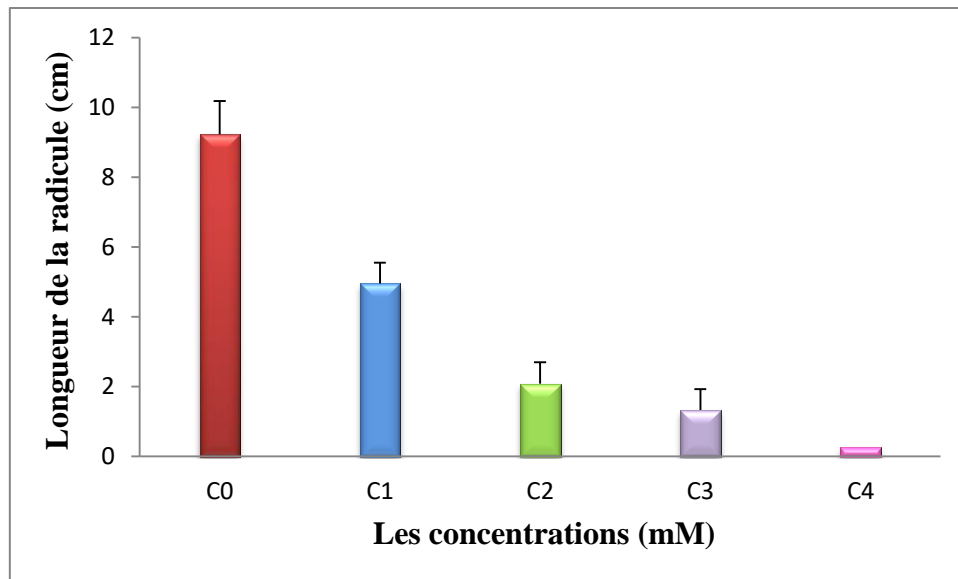
**Figure 14:** Pourcentage de germination (%) des grains d’Orge soumis aux différentes concentrations de NaCl (mM)

#### 4.1.2. Longueur de la racicule

Les résultats illustrés dans la figure 15 nous indiquent que plus la concentration en sel augmente, plus la croissance racinaire est lente. L’effet dépressif du sel sur ce paramètre est plus prononcé aux fortes concentrations de NaCl surtout à la concentration 250 mM avec la valeur moyenne enregistrée 0.27 cm contre 9,23 cm pour le témoin non additionné de sel.

Ces résultats sont similaires à ceux de **Kadri et al. (2009)**, qui ont rapporté un effet dépressif du sel sur la longueur de la partie souterraine chez différentes accessions d’orge en fonctions de l’intensité du stress salin. De même **Tambelini (1995)**, ont rajouté que les concentrations élevées de sel, particulièrement NaCl peuvent inhiber l’activité enzymatique des graines en germination et retarder la sortie et le développement de la racicule.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a montré un effet concentration significatif ( $p=0,000$ ) donc on constate qu’il y’a un effet de sel sur la longueur de la racicule ( $p < 0,05$ ) (**Annexe 03**).

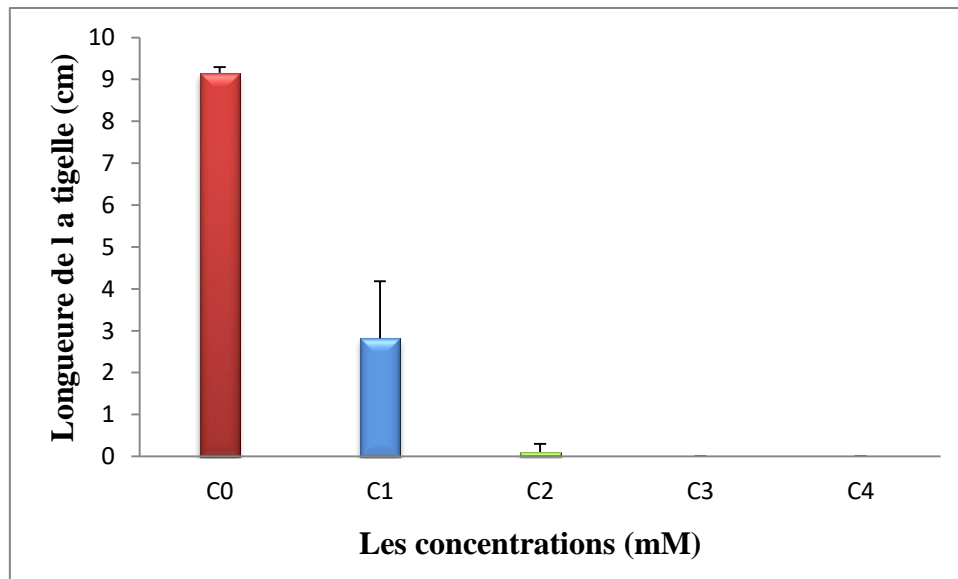


**Figure 15:** La longueur de la racine (cm) de la variété d’Orge soumise aux différentes concentrations du NaCl (mM)

#### 4.1.3. Longueur de la tigelle

L’analyse des résultats de la longueur de la tigelle montre que la présence de NaCl dans le milieu de culture influe sur la croissance de ce paramètre (**Fig. 16**). L’allongement le plus important est enregistré pour le témoin avec une valeur moyenne de 9,15 cm, cette valeur est diminuée progressivement avec l’intensité du stress jusqu’à atteindre 0,33 cm à la concentration 150 mM. Notons que la croissance de la tigelle a été inhibée complètement aux fortes concentrations de NaCl (200 mM et 250 mM). Cela se concorde avec les résultats trouvés par **Bell (1999)**, concernant une gamme très large d’espèces d’Eucalyptus australiens en condition de salinité. De même, **Djerah et oudjehih (2016)**, ont rapporté une diminution dans la croissance de la tigelle chez seize variétés d’orge en fonction des concentrations salines.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentrations significatif ( $p=0,000$ ) donc on constate qu’il y’a un effet de sel sur la longueur de la tigelle ( $p < 0,05$ ) (**Annexes 05**).



**Figure 16:** La longueur de la tige (cm) de la variété d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

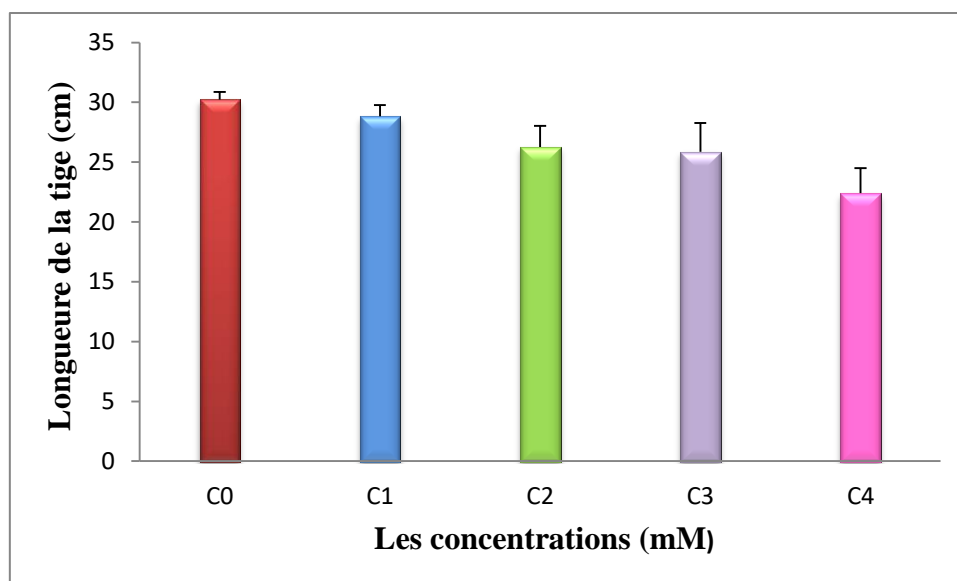
## 4.2. Essai de croissance et de développement des plantules dans les pots

### 4.2.1. Hauteur des plantes

Les résultats liés à ce paramètre (**Fig. 17**) montrent que la hauteur des plantes stressées est réduite par rapport à celle du témoin non traité. Cette réduction devient plus importante avec l'intensification du stress. La valeur moyenne enregistrée en l'absence de stress est de 30,23 cm contre 22,4 cm enregistrée à la concentration 250 mM.

De nombreuses études dont celle de **Brun (1980)**, sur la fève (*Vicia faba* L.), a révélé que l'excès de sel dans la rhizosphère conduit à la formation des plantes de courtes tailles voir des plantes naines, d'autre part **Gama et al. (2007)**, ont démontré que la salinité a exercé des effets nuisibles sur les paramètres morphologiques tels que la hauteur de la plante, le nombre de feuilles et la longueur de la racine chez la tomate (*Solanum lycopersicum*) cultivée sous conditions de stress salin.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification sur la hauteur de la plante indique une différence significative ( $p < 0.05$ ) entre les différentes concentrations ( $p = 0,002$ ) (**Annexes 11**).



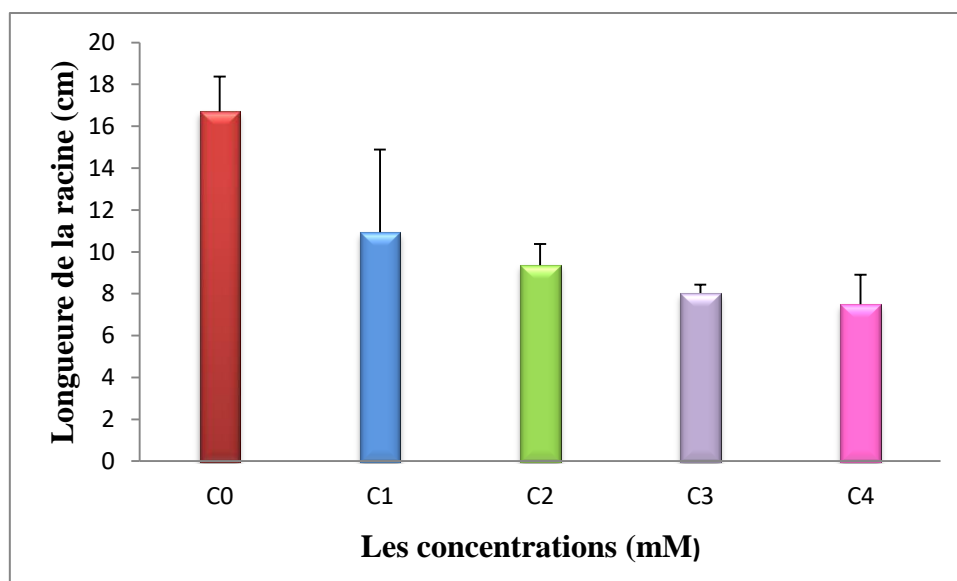
**Figure 17:** La hauteur des plantules (cm) d'Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

#### 4.2.2. La longueur de la racine principale

L'étude de l'évolution de la longueur de la racine sous conditions de stress salin montre une diminution de ce paramètre surtout en augmentant les concentrations en sel dans le milieu (**Fig. 18**). Les résultats obtenus nous indiquent que l'accroissement du stress appliqué affecte grandement la croissance racinaire, les moyennes enregistrées passent de 16,7 cm en l'absence de stress (témoin) à 7,5 cm en présence de 250 mM de NaCl.

Selon **Kadri et al. (2009)**, le stress salin affecte négativement la croissance du système racinaire chez quelques accessions d'orge. Cette croissance diminue considérablement lorsque l'intensité du stress s'accroît. D'autres auteurs ont signalé que la salinité abaisse le potentiel hydrique des racines, et ceci cause rapidement des réductions de taux de croissance, avec des changements métaboliques identiques à ceux provoqués par le stress hydrique (**Munns et al., 2002**).

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet significatif ( $p < 0.05$ ) entre les différents traitements ( $p = 0,002$ ) (**Annexes 09**).

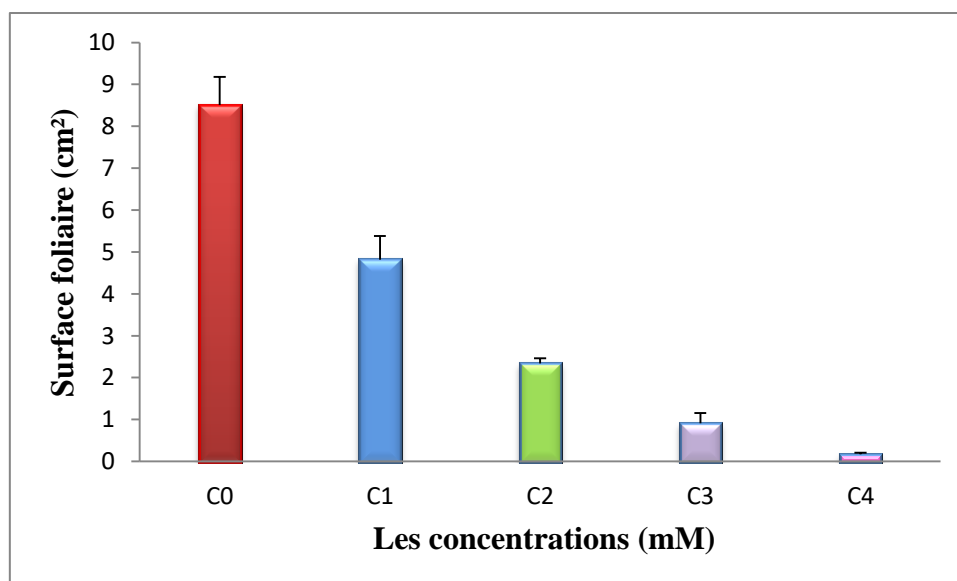


**Figure 18:** La longueur de la racine principale (cm) des plantules d’Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

#### 4.2.3. La surface foliaire

Les résultats de la surface foliaire sont représentés par la figure 19. L'examen de cette figure montre que la variété d’orge testée réagit au stress salin par une réduction de leur surface foliaire, cette réduction s’intensifie en augmentant le niveau du stress salin dans le milieu. La valeur moyenne enregistrée chez les plantules recevant une concentration de 250 mM est de 0,16 cm<sup>2</sup> par rapport à l’échantillon non soumis au stress salin (8,50 cm<sup>2</sup>). La réduction de la surface foliaire sous l’effet du stress salin a été signalée par **Wang et Nil (2000)**. Ces auteurs soulignent que la réponse immédiate de la plante au stress salin est la réduction du taux d'expansion de la surface foliaire jusqu'au sa cessation avec l'augmentation des concentrations salines. De même, **Mamadou et al., (2014)**, ont rapporté une réduction de la surface foliaire chez quelques variétés de pois chiche et de lentille arrosées avec l'eau salée.

L’étude statistique à l’aide de l’analyse de la variance ANOVA à un seul critère sur la surface foliaire montrent qu’il y’a une différence significative ( $p < 0.05$ ) entre les traitements ( $p = 0.000$ ) (**Annexes 11**).



**Figure 19:** Surface foliaire (cm<sup>2</sup>) des plantules d’Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

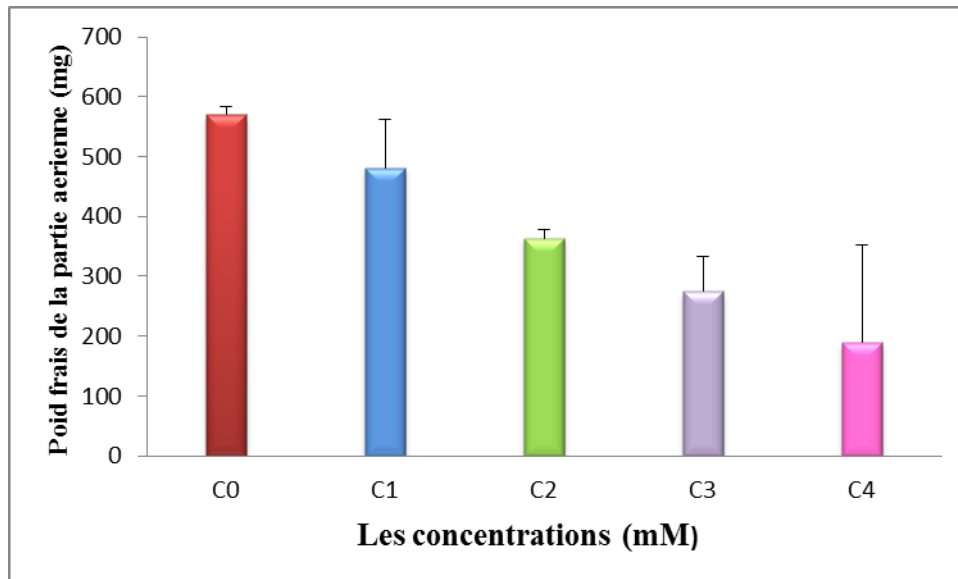
#### 4.2.4. Le poids frais de la partie aérienne et souterraine

Les données enregistrées pour ce paramètre montrent que la matière fraîche des parties aériennes et souterraines a été très influencée par la présence du sel dans le milieu (**Fig. 20; Fig. 21**). En effet, la production de la matière fraîche des parties aériennes et souterraines diminue sous l’effet des différents traitements salins appliqués par rapport aux témoins, cette diminution s’intensifie en augmentant le niveau du stress salin dans le milieu pour atteindre 264 mg de matière fraîche aérienne à la concentration 250 mM contre 570,11 mg pour le témoin. Quant à la matière fraîche racinaire, la valeur enregistrée à ce niveau du stress est de 97,41 mg par rapport au témoin non traité (200,18 mg).

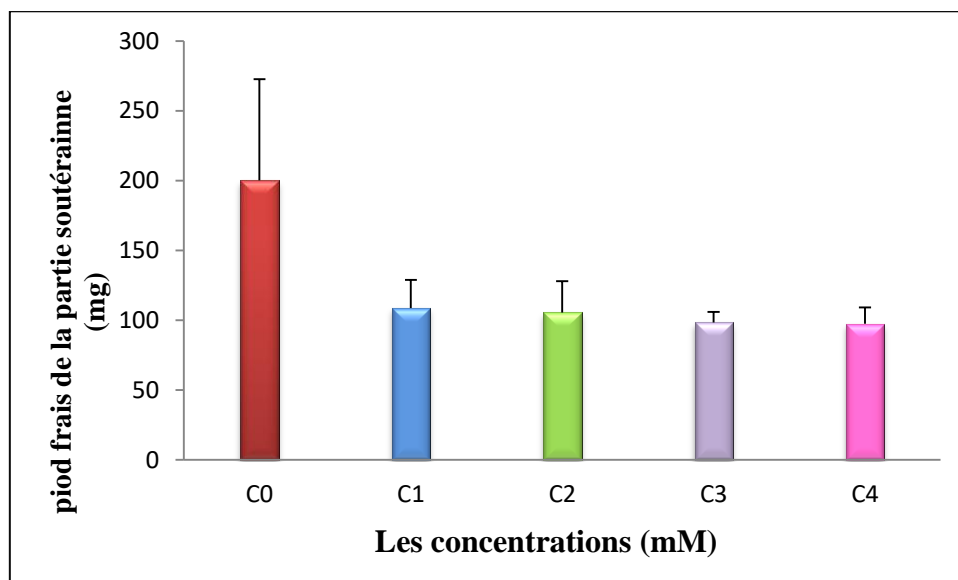
Plusieurs auteurs dont **Kurban et al. (1999)**, ont démontré que les concentrations élevées en sels (100 à 200 mM) diminuent le poids total de la plante chez quelques espèces de légumineuses. D’autre part **Ferrara et al. (2011)**, suggèrent que la diminution de la matière fraîche sous condition de stress salin est probablement due à une diminution de l’eau dans les feuilles et du potentiel osmotique chez les plantes exposées au stress salin.

L’étude statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet significatif ( $p < 0,05$ ) pour ce paramètre entre les différents traitements ( $p = 0,024$ ), ( $p = 0,000$ ) (**Annexe 13, 15**).





**Figure 20:** Le poids frais de la partie aérienne (mg) des plantules d’Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)



**Figure 21:** Le poids frais de la partie souterraine (mg) des plantules d’Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

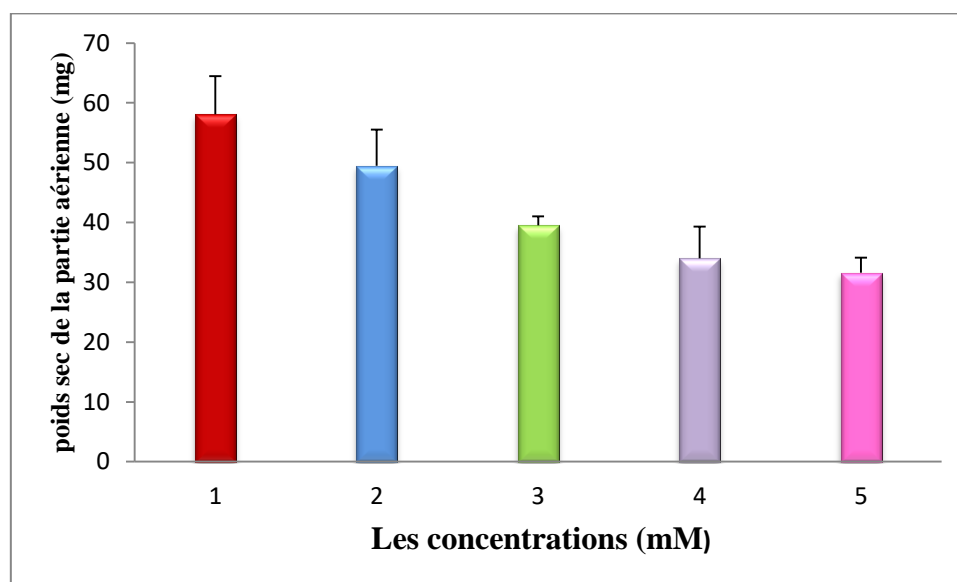
#### 4.2.5. Le poids sec de la partie aérienne et souterraine

La figures 22 et 23 montrent que les traitements salins imposés sont associés à une diminution de la matière sèche des deux parties aérienne et souterraine et ce pour les différents niveaux du stress appliqué. La réduction de la matière sèche des deux parties aérienne et souterraine s’accroît en augmentant la concentration de la contrainte saline appliquée, d’où les valeurs moyennes enregistrées à la plus forte concentration (250 mM)

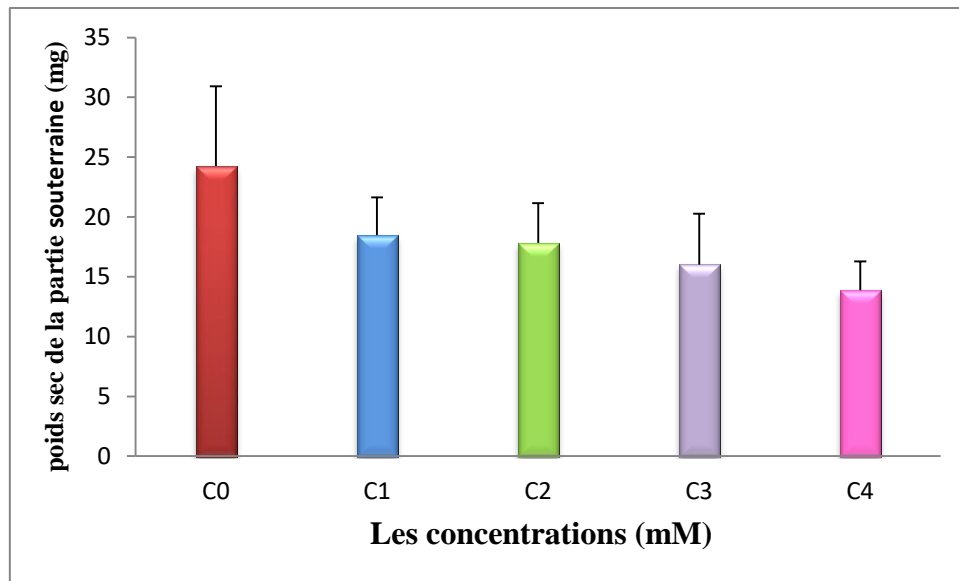
sont: 31,59 mg de matière sèche aérienne et 13,88 mg de matière sèche racinaire contre 58,09 mg 24,25 mg successivement pour les traitements non additionnés de sel. .

Certaines études dont celle de **Ghoulam et al. (2002)**, a signalé une grande réduction de la matière fraîche et sèche des feuilles et des racines aux fortes concentrations du NaCl (200 mM) chez la betterave à sucre. De même, **Mguis et al. (2011)**, ont rapporté une diminution de la biomasse sèche des feuilles, des tiges et des racines suite à une exposition au stress salin chez *d'Aegilops geniculata* roth et le blé dur (*Triticum durum Desf*).

Le traitement statistique ANOVA à un sel critère de classification a révélé un effet concentrations non significatif ( $p > 0,05$ ) pour le poids sec de la partie souterraine ( $p = 0,104$ ) et effet significatif ( $p < 0,05$ ) pour le poids sec de la partie aérienne ( $p = 0,000$ ) (**Annexe 17, 19**).



**Figure 22:** Le poids sec de la partie aérienne (mg) des plantules d'Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)



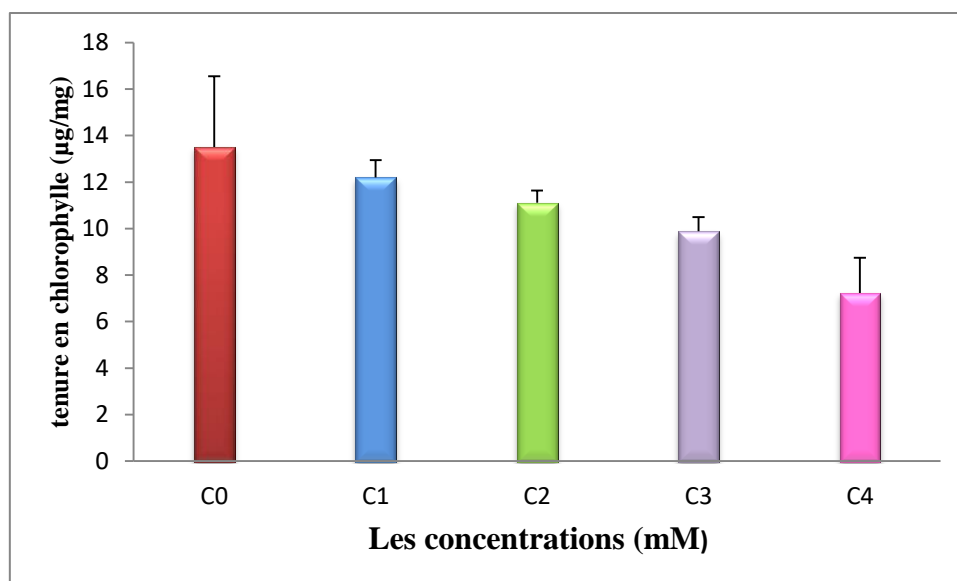
**Figure 23:** Le poids sec de la partie souterraine (mg) des plantules d’Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

#### 4.2.6. La teneur en chlorophylle totale

Les résultats obtenus à l’issu de ce travail (**Fig. 24**) montrent que la teneur en chlorophylle total (a+b) a été réduite par l’effet de la salinité. Ainsi, chez le témoin, la teneur en chlorophylle total est restée plus importante, comparativement à celles dosées chez les plantes traitées par le NaCl. La diminution du taux des pigments chlorophylliens a été observée pour l’ensemble des concentrations salines utilisées. Les réductions les plus importantes ont été notées en présence de 200 mM et 250 mM de NaCl d’où les valeurs moyennes enregistrées sont 9,88 µg/ mg et 7,23 µg/mg respectivement par rapport au témoin non traité (13,66 µg/mg).

nombreux auteurs ont rapporté une diminution de la teneur en pigments chlorophylliens sous condition du stress salin (**Shaheena et al., 2005**). Cela peut être liée à la sensibilité de la biosynthèse des chlorophylles au chlorure de sodium (**Rhim et al., 2013**). D’autre part, **Hajlaoui et al. (2015)**, ont attribué la diminution de la teneur en pigments chlorophylliens lors d’un stress hydrique ou salin à la réduction de l’assimilation de l’azote via le sol. L’azote étant un composant essentiel dans la synthèse de la chlorophylle.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification sur la teneur en chlorophylle total ( $p=0,009$ ) a révélé un effet concentration significatif ( $p<0,05$ ) (**Annexe 21**).



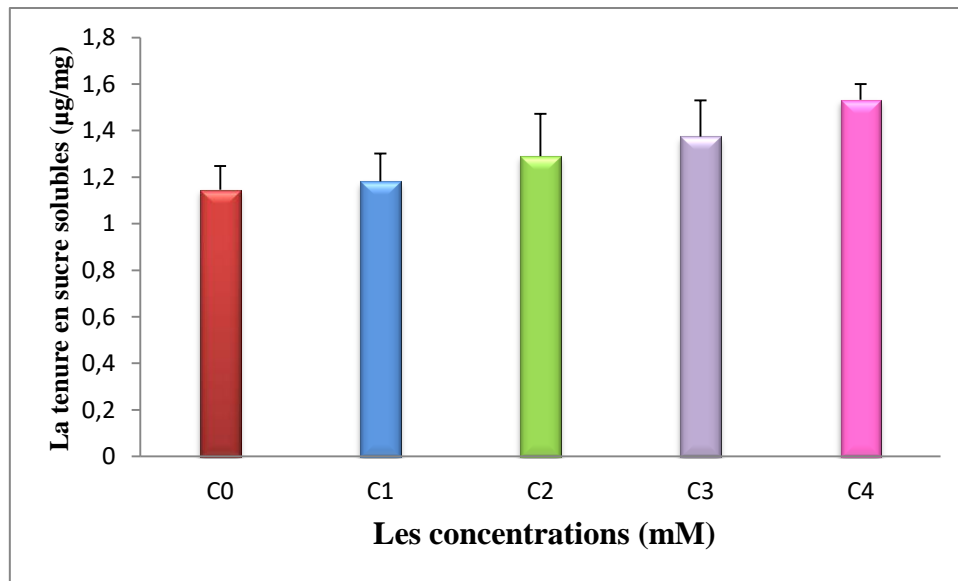
**Figure 24:** La teneur en chlorophylle total ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ ) dans les feuilles des plantules d’Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

#### 4.2.7. Dosage des sucres solubles

Les résultats de la teneur en sucres solubles (**Fig. 25**) indiquent que l’ajout du NaCl à la solution d’arrosage des plantules de la variété d’orge testée a donné des teneurs supérieures à celle du traitement sans sel, d’où nous avons remarqué que l’application du stress a provoqué une progression des taux en sucres solubles commençant par  $1,14 \mu\text{g}/\text{mg}$  pour le témoin jusqu’à atteindre  $1,55 \mu\text{g}/\text{mg}$  à la concentration 250 mM.

D’après **Datta et al. (2009)**, le stress salin provoque une augmentation de la teneur en sucres solubles chez l’orge, le blé tendre et la tomate cultivés sous conditions de stress salin. De même **Gamal et al. (2012)**, considèrent les sucres comme de bons osmorégulateurs qui peuvent jouer un rôle important dans l’ajustement osmotique et l’adaptation des plantes au stress osmotique. D’autres auteurs ont rajouté que les sucres, même s’ils représentent des osmoticums beaucoup moins puissant, ils participent également au maintien de la balance de la force osmotique pour garder la turgescence et le volume cytosolique aussi élevés que possible (**Bouzoubaa et al., 2001**).

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification sur la teneur en sucre soluble a révélé un effet significatif ( $p < 0,05$ ) entre les concentrations ( $p = 0,028$ ) (**Annexe 23**).



**Figure 25:** La teneur en sucres solubles ( $\mu\text{g}/\text{mg}$  MF) dans les feuilles des plantules d'Orge soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

# *Conclusion*

## **Conclusion**

Les résultats de la présente étude indiquent une action négative du sel sur la variété d'orge testée d'où les réductions enregistrées pour tous les paramètres étudiés. Ces réductions sont faibles au stress salin modéré, mais plus importantes au stress salin plus fort.

En tenant compte de l'ensemble de paramètres de germination étudiés, nos résultats montrent que la capacité germinative, la longueur de la tigelle et de la radicule sont fortement affectées par le stress salin et elles diminuent surtout aux doses de sel les plus élevées. Le taux final de la germination est à 100% pour les graines humidifiées uniquement par de l'eau distillée et diminue pour atteindre 27,5 % sous l'effet stressant de la salinité. Notons qu'aux fortes concentrations de NaCl (200 mM et 250 mM), la croissance de la tigelle a été complètement inhibée.

Les résultats de cette expérimentation indiquent aussi que la salinité affecte également le développement des plantules de la variété d'orge testée à travers de nombreux paramètres morpho physiologiques (hauteur des plantes, la surface foliaire, la longueur de la racine principale et le poids frais et sec des parties aériennes et souterraines) et l'impact du stress était plus prononcé aux fortes concentrations de NaCl. En est de même pour la teneur en chlorophylle totale qui a subi une diminution importante sous des seuils élevés de NaCl. D'autre part, le stress salin a provoqué une accumulation des sucres solubles, cette accumulation croît en fonction du traitement salin appliqué, ce qui prouve que ces solutés osmorégulateurs interviennent dans l'ajustement osmotique chez les plantes soumises à un stress salin.

L'analyse et l'interprétation des résultats des réponses morphologiques, physiologiques et biochimiques de la variété d'orge testée en milieu salin, nous a permis de conclure que cette variété présente une adaptation marquée vis à-vis le stress salin. Ces résultats montrent que cette variété parvient à se développer sous des doses de NaCl allant jusqu'à 250 mM, ceci montre les possibilités de l'introduire dans les zones atteintes par la salinité.

En fin, ces résultats demeurent infimes et ne considèrent que comme des résultats préliminaires, pour cela il doit être complété par des expérimentations similaires sur le champ, portant sur d'autres variétés d'Orge et en testant d'autres paramètres plus fiables notamment les composantes du rendement (nombre des épis par plant, nombre des épillets par

épis...) ainsi que le dosage d'autres solutés aussi importants pour l'osmorégulation que la proline afin de confirmer la véritable tolérance des variétés d'Orge à la salinité.



# *Références bibliographiques*

**Références bibliographiques**

**Achraf, M. Harris, 2004.** Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sci.* (166): 3-6.

**Akal, T. Avci, M. and Dusunceli, F. 2004.** Barley: Post-harvest operations. <http://WWW.Fao.org/inph/content/compend/text/ch 31.htm>.

**Alam, M.Z. Stichbury, T. and Naylor, R.E. 2005.** Early identification of salt tolerant genotypes of rice (*O rizi s a tiv a L.*) using controlled deterioration. *Exp. Agric.* (42): 65-77.

**Apse, M. P. Sottosanto, J. B. and Blumwald, E. 2003.** Vacuolar cation/H<sup>+</sup> exchange, ion homeostasis and leaf development are altered in a T-DNA insertional mutant of AtNHX1, the *Arabidopsis* vacuolar Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiporter. *The plant journal*, 36(2): 229-239.

**Ashraf, M. and shahbaz, M. 2012.** Growth stage-based moulton in antioxidant defense system and proline accumulation in two hexaploid wheat (*tritium aestivum L.*). *Cultivars differing in salinity tolerance*. *Flora*, 207 : 388-397.

**Badr, A. Muller, K. Schafer-Pregl, R. El Rabey, H. Effgen, S. Ibrahi, H. Pozzi, C. Rohde, W. and Salamini, F. 2000.** The origin, domestication and history of barley (*Hordeum vulgare*). *Molecular Biology and Evolution*, (17): 499-510.

**Bekhouche H, 1992.** *Etude de la germination de quelques lignées de pois chiche, soumis à la salinité. Croissance anatomie des racines.* Mémoire de D.E.S en Biol. Vég, Université d'Oran, 58 p.

**Belaid, D. J. 1986.** Aspect de la céréaliculture algérienne, OPU, 207 p.

**Belkhodja, M. et Bidai, Y. 2004.** Réponse de la germination des graines d'*Atriplex halimus L.* sous stress salin. *Sécheresse*, 15(4): 331-335

**Bell, D.T. 1999.** Australian trees for the rehabilitation of waterlogged and salinity-damaged landscapes. *Aust. J. Bot.* (47): 697-716.

**Ben Mbarek, K. et Boubaker, M. 2017.** Manuel de grandes cultures-Les céréales. Edition universitaires Européennes, p. 183-187.

**Ben-Hayyim, G. Vaadia, Y. and William, B. 1989.** Proteins associated with salt adaptation in citrus and tomato cells. Involvement of 26 KD polypeptides. *Plant physiology*, (7) : 332-340.

- Benidire, L. Daoui, K. Fatemi, Z. Achouak, W. Bouarab, L. et Oufdou, K. 2015.** *Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de Vicia faba L. J. Mater. Environ. Sci.* 6 (3): 840-851.
- Bliss R, D. Platt-Aloia K, A. and Thomson, W. 1986.** The inhibitory effect of NaCl on barley germination *Plant, Plant Cell and Env*, (9): 721-725.
- Bondy, 1993.** Cours des sols salés. Université de Paris, 200p.
- Bonjean, A. et Picard, E. 1990.** Les céréales à paille: origine, histoire, économie, sélection. Ed. INRA, Paris, France, 300 p.
- Bouauina, S. Zid, E. Hajji, M. 2000.** Tolerance a la salinité transport ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*triticum turgidum L.*), 233p.
- Boufenar, Z. Zaghouane, O. et Zaghouane, F. 2006.** Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie. Ed. ITGC, ICARDA., Alger, 154 p.
- Boulal, H. Zaghouane, O. El Mourid, M. et Rezgui, L. 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orges) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
- Bouzerzour, H. Djekoun, A. Et hassous, K. 1998.** Contribution de la biomasse aérienne de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement grain (*Hordeum vulgare L.*). En zone d'altitude. *Cahiers de l'agriculture*, 8 : 133-137.
- Bouzerzour, H. et Benmahammed, A. 1993.** Environmental factors limiting barley yield in the high plateau of Eastern Algeria. *Rachis*, 12 (1): 14-19.
- Bouzoubaa, Z. El Mourid, M. et Gharous, M. 2001.** Manule d'analyse chimique et biochimique des plantes. INRA. Maroc.
- 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. 11-18p.
- Bresler, E. B. L. Mc Neal, D.L. Carter, L. 1982.** Saline and sodic soils: principles, dynamics, modeling. Springer Verlag, New York, 236 p.
- Brun, A. 1980.** *Effets compares de différence de concentrations de NaCl sur la germination, la croissance et composition de quelques population de luzernes annuelle d'Algérie*. Thèse doctorat 3ème cycle en physiologie végétale, Montpellier, 198 p.

**Burny, H. 2011.** Production et commerce mondial en céréales en 2010/2011. Blance (céréales) ULG Gembloux, Agro Bio Tech et CRA, p. 2-12.

**Ceccarelli, S. and Grando, S. 1996.** *Hordeumvulgare* L. In: Grubben, G.J.H. and Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia. Cereals Backhuys Publishers, *Leiden, Netherlands*, (10): 99-102.

**Ceccarelli, S. and Grando, S. 2006.** *Hordeum vulgare* L. In: Brink, M. and Belay, G. Ed. PROTA 1: Cereals and pulses/Céréales et légumes secs. *PROTA*, Wageningen, Pays Bas, 92-97 p.

**Chadefaud, M. et Emberger, L. 1960.** Traité de Botanique Systématique. Ed. Masson et Cie, Paris, 1220-1223.

**Chandar, P. 1999.** Dampingstudies in fiber-reinforced composites—a review *Compos. Struct.*, (46): 41-51.

**Chen, S. Li, J. Wang, S. Hüttermann, A. and Altman, A. 2001.** Salt, nutrient uptake and transport, and ABA of *Populus euphratica*; a hybrid in response to increasing soil NaCl. *Trees*, 15(3): 186-194.

**Cherby, B. 1991.** Les sols salés et leur réhabilitation : Etudes bibliographiques. Cemagref, France, 170p.

**Clement-Grandcourt, M. et Prats, J. 1971.** Les céréales. Ed. Baillière et fils Saint-Amand, Paris, 336 p.

**Come, D. 1970.** Les obstacles à la germination, 108p.

**Cushman, J.C. Meyer, G. Michaloxski, C.B. Schmitt, J.M. et Boh- Nert, H.J. 1989.** Salt stress leads to differential expression of two isogenes of PEPCase during CAM induction in the common Ice plant. *Plant Cell.*, ( 1): 715-725.

**Datta, J. Nag, S. Banerjee, A. et Mondal , N. 2009.** Impact of salt stress on five varieties of wheat (*Triticum durum*) cultivars under laboratory condition. *Journal of Applied Sciences & Environmental Management*, (3): 93-97.

**Deepak, K. Sangeeta, G. Jana, A. 2013.** Thermal and Morphological properties of chemically treated barley huskfiber. *URMEJ*, (2): 153-156.

- Djerah, A. et Oudjehih, B. 2015.** Effet du stress salin sur la germination de seize variétés d'Orge (*Hordeum vulgare* L.). *Courrier du Savoir*, (20): 47-56.
- Djermoun, A. 2009.** La production céréalière en Algérie : Les principales caractéristiques, 43-55 p.
- Djili, K. et Daoud, Y. 2000.** Influence des hauteurs des précipitations sur la répartition du calcaire et du pourcentage de sodium échangeable dans les sols du Nord de l'Algérie. *Sécheresse*, 11(1): 37-43.
- Douaoui, A. et Hartani, T. 2007.** Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chéliff. Actes de l'atelier régional SIRMA, Tunis.
- Dubois, M. Gilles, K. A. Hamilton, J. K. Rebers, P.A. et Smith, F. 1956.** Colorimetric method for determination of sugars and related substance. *Anal Chem*, 28, 350-356.
- Durand, J. 1983.** Les sols irrigables. Etude pédologique, 339p.
- El- Hendawy, S.E.Y. Hua, G.M. Yakout, A.M. Awad, S.E. Hafiz, U. and Schmidhalter. 2005.** Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. *Europ. J. Agronomy*, (22): 243-253.
- El Madidi, S. El Baroudi, B. Bani Aameur, F. 2003.** Variation de la tolérance à la salinité chez d'Orge pendant la germination et la croissance des plantes. *Actes Inst.Agron.Vet. Maroc.* (2): 109-115.
- El-Mokh, F. et Negaz, K. 2015.** Irrigation déficitaires à l'eau salée de l'orge en milieu aride. 95p.
- FAO. 2008.** Annuaire statistique de la FAO.
- Farissi, F. Aziz, F. Bouizgaren, A. et Ghoulam, C. 2014.** Symbiose légumineuses – rhizobia sous conditions de salinité : Aspect agro-physiologique et biochimique de la tolérance. *International journal of innovation and scientific research*, (11) : 96-104.
- Farissi, M. ghoulam, C. et Bouizgaren, A. 2013.** Variabilité de la tolérance à la salinité de la luzerne : évaluation au stade germination de populations issues de différents agroécosystèmes Marocaines. *Fourrages*, (216): 329-332.
- Favier, J.C. 1989.** valeur nutritive et comportement des céréales au cours de leur transformation PDF. Céréales en régions chaudes. Paris, p. 285-287.
- Ferrara, A.S. Lovelli, T. Di Tomasso, and Perniole, M. 2011.** Flowering, Growth and fruit setting in greenhouse bell pepper under water stress. *Journal of agronomy*, 10 (1): 12-19.

- Gama, P. Inanaga, S. Tanaka, K. and Nakazawa, R. 2007.** Physiological reponse of common bean (*Phaseolis vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. *African journal of biotechnology*, 79-88 p.
- Gamal, M. 2012.** Arbuscular mycorrhizal fungal application to improve growth and tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants grown in saline soil. *Acta Physiol Plant.* (34): 267-277.
- Garthwaite, A.J. von Bothmer, R. and Colmer, T.D. 2005** Salt tolerance in wild *Hordeum* species is associated with restricted entry of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> into the shoots. *Journal of Experimental Botany*, (56): 2365-2378.
- Ghoulam, C. Foursy, A. and Feres, K. 2002.** Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environ. Exp. Bot.* (47): 39-50.
- Girija, C. Smith, B. N. and Swamy, P. M. 2002.** Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycine betaine in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 47(1): 1-10.
- Godon, B. et Willm, C. 1991.** Les industries de première transformation des Céréales. Paris. Techniques et documentation Lavoisier, 676 p.
- Gomez-Cadenas, A. Arbona, V. Jacas, J. Primo-Millo, E. and Talon, M. 2002.** Abscisic acid reduces leaf abscission and increases salt tolerance in citrus plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 21(3): 234-240.
- Gomez-Macpherson, H. 2001.** *Hordeum vulgare* L. <http://ecoport.org/ep?plant=1232>.
- Gouia, H. Ghorbal, M. H. and 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.
- Greenway, H. and Munns, R. 1980.** Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, (3): 149-190.
- Grégory, B. 2005.** *Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizes en milieu salin et sodique*. Thèse de doctorat sciences Forestier. Université Laval Québec, 209p.
- Grondin, A. Rodrigues, O. Verdoucq, L. Merlot, S. Leonhardt, N., and Maurel, C. 2015.** Aquaporins contribute to ABA-triggered stomatal closure through OST1- mediated phosphorylation. *The Plant Cell*, 27(7): 1945-1954.

**Guiga, W. 2006.** *Identification des inhibiteurs de la germination de l'orge et mise au point d'un procédé de traitement des eaux de trempé en malterie en vue de leurs recyclage.* Thèse de doctorat en procédés biotechnologique et alimentaires. Univ. Nancy, 199 p.

**Hajlaoui, H. Denden, M. et Bouzlama, M. 2007.** Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche au stade de germination, (3) : 168-173.

**Hakimi, M. 1993.** L'évolution de la culture de l'Orge : le calendrier climatique traditionnel et les données agro-météorologiques modernes. Proceeding of an International Symposium, Tunis, p. 157-166.

**Halitim, A. 1988.** Arid soils in Algeria. Ed. OPU, Alger 384p.

**Hanana, M. Hamrouni, L. Cagnac, O. and Blumwald, E. 2009.** Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plants. *Environmental Reviews*, (19) :121-140.

**Hariri, A. 2003.** *Etude et modélisation de la trempé en malterie*, thèse I.N.P.L. en biotechnologie et industries alimentaires, Université de lorraine. Nancy, p 269.

**Hopkins, W. G. 2003.** Physiologie végétale. Editions De Boeck Supérieur. Bruxelles, 476 p.

**Huang, J. and Redman, R.E. 1995.** Response of growth, morphology and anatomy to salinity and calcium supply in cultivated and wild barley. *Canadian journal of botany*, (73) : 1859-1866.

ITGC, 2020. La culture de l'Orge, Alger. [www.itgc.dz](http://www.itgc.dz).

**Jabnoute, M. 2008.** *Adaptation des plantes au stress salin : caractérisation de transporteurs sodium et potassium de la famille HKT chez le riz.* Thèse de doctorat, physiologie végétale et biologie moléculaire, France, 114p.

**Jeantet, R. Croguenne, T. P. Schuck, P and Gerard, B. 2007 :** Science des aliments : Biochimie Microbiologie-procédés- produits, p. 138-159.

**Kadri, K. Maalam, S. Benabdallah, A. Rahmoune, C. and Ben Naceur, M. 2009.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques accessions Tunisiennes d'Orge. *Science and technologie*, (29): 72-79.

- Karoune, S. Mechebar, M.S.A. Halis, Y. Djellouli, A. and Rahmoune, C. 2017.** Effet du stress salin sur la morphologie, la physiologie et la biochimie de l'Acacia albida. *Journal algérien des Régions Arides*.
- Khan, N.A. Nazar, R. and Anjum N.A. 2009.** Growth, photosynthesis and antioxidant metabolism in mustard (Brassica juncea L.) Cultivars differing in ATP sulfurylase activity under salinity stress *Sci Hort*, (122) : 455-460.
- Kpinkoun, J. K. Zanklan, S. A. Komlan, F. A. Mensah, A. C. Montcho, D. Kinsou, E. and Gandonou, C. B. 2019.** Évaluation de la résistance à la salinité au stade jeune plant de quelques cultivars de piment (*Capsicum spp.*) du Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 133(1): 13561-13573.
- Kurban, H. Saneoka, H. Nehira, K. Adilla, R. Premachandra, G.S. and Fujita, K. 1999.** Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant *Alhagi pseudoalhagi* (Bie). *Soil Sci. Plant Nutr*, (45): 851-862.
- Lachhab, I. Louahlia, S. Laamarti, M. et Hammani, k. 2013.** Effet d'une stress salin sur la germination et l'activité enzymatique chez deux génotypes de *Medicago sativa*. *International Journal of Innovation and Applied Studie* 3(2):511-516.
- Le Houérou, H. N. 1986.** Salt-tolerant plants of economic value in the Mediterranean- an Basin. *Reclamation and Revegetation Research*, (5): 319-341.
- Le Houérou, H.N. 1992.** The role of saltbushes (*Atriplex spp*) in arid land rehabilitation in the Mediterranean basin: a review. *Agroforestry Systems* (18): 107-148.
- Le Houérou, H.N. 1995.** Bioclimatology and biogeography of arid steppes in North of Africa, biological diversity, durable development and desertification. *Options Médit.* (10): 1–397.
- Leopoldini, M. Russo, N. and Toscano, M. 2011.** The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. *Food Chemistry*, 125(2): 288-306.
- Levigneron, A. Lopez, F. Varisuyt, G. Berthomien, P. et Casse-Delbar, T. 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahier d'Agriculture*, (4): 263-273.
- Levit, J. 1980.** Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and others stresses. *Academic Press*, New York, (2): 365- 406.
- Lopez, F. 1996.** Identification et étude de l'expression de deux gènes en réponse au stress salin chez *Raphanus sativus*. Thèse de doctorat. Univ. de Montpellier, 145p.
- Maadou, O. Dinesh, K. Mayecor, D. Subhash, N. et Tahir, D. 2014.** Effet de la salinité sur la croissance et la production de biomasse de deux provenances de *Jatropha curcas* L. cultivés en serr int. *J. Biol. Chem. Sci.*(1) : 46-56.



- Mac Leod, A. 1979.** The physiology of malting, food science and technology a series of monographs, 145-232.
- Mamadou, O. Dinesh, K. Mayecor, D. Subhash, N. et Tahir, D. 2014.** Effet de la salinité sur la croissance et la production de biomasse de deux provenances de *Jatropha curcas* L. cultivés en serre. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8(1): 46-56.
- Mashali, A. Suarez, D. L. Nabhan, h. and Rabindra, R. 2005.** Integrated management for sustainable use of salt –affected soils Rome: FAO Soils Bulletin, now printing, 12 p.
- Mass, E.V. and Hoffman, G.J. 1977.** Crop salt tolerance- current assessment. *J. irrig. Drain div. Asce*, (103) : 115-134.
- Mazliak, P. 2000.** Physiologie végétale. Edition Heremann. 521 p.
- Mefti, M. Bouzerzour, H. Abdlguerfi, A. et 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(2): 138-147.
- Menad, A. Meziani, N. Bouzerzour, H. et Benmahammed, A. 2011.** Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement d'Orge (*Hordeum vulgare* L.): application des modèles AMMI et la régression conjointe. *Nature et Technologie*, (5): 99-106.
- Mguis, K. Albouchi, A. Ouerghi, Z. Yakoubi-Tej, M. Mahjoub, A. et Ben Brahim, N. 2011.** Influence d'une contrainte saline sur la croissance d'*Aegilops geniculata* Roth et du blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Acta BotanicaGallica: BotanyLetters*, (4): 553-565.
- Misirli, A., Gülcan, R., Küden, A. and Demir, G. 2001.** Determination of phenolic compounds in some almond hybrids varying in resistance to *Pseudomonas amygdali*. *Cahiers Options Méditerranéennes* (CIHEAM), 1022-1379.
- Mouhouche B. et Boulassal M. 1999.** Contribution à une meilleure maîtrise des pertes en eau d'irrigation et de la salinisation des sols en zones arides. *Recherche Agronomiques*, ( 4) :15-23.
- Moule. C, 1980** : in **Betka, R et Smaili, Y, 2006:** *Etude d'induction de la callogenèse d'Orge* (*Hordeum vulgare* L.), Thèse d'ingénieur d'état en Agronomie, université de M'sila, 80 p.
- Munns, R. 1993.** Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypothèses. *Plant Cell Environ.* (16): 15-24.
- Munns, R. 2005.** Genes and salt tolerance : Bringing them together. *New phytol.*, (3) : 645-663.
- Munns, R. and James, R. A. 2002.** Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant and soil*, 253(1): 201-218.

**Nevo, E. 1992.** Origin, evolution, population genetics and resources for breeding of wildbarley, *Hordeum spontaneum*, in the Fertile Crescent. In Shewry, P.R. (ed.). Barley: genetics, biochemistry, molecularbiology and biotechnology, Oxford, C.A.B. International, The Alden, Press, 19-43p.

**Omami, E.N. 2005.** Response of Amaranth to salinity stress. These de doctorate en Horticulture. University of Pretoria. 235 p.

**Ouerghi, Z. Zid, E. Hajji, M. and Soltani, A. 2000.** Comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum L.*) en milieu salé. *CIHEAM-Options Méditerranéennes*, 309-331.

**R'him, T. I. Tlili, I. Hnan, R. Ilahy, A. Benali et Jebari, H. 2013.** Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annum l.*), *Journal of Applied Biosciences*, (66): 5060-5069.

**Rahal-Bouziane, H. 2018.** L'orge en Algérie: Passé, Présent et importance pour la sécurité alimentaire, face aux nouveaux défis, *Recherche Agronomique*, 19p.

**Rahal-Bouziane, H. et Abdelguerfi, A. 2007.** Caractéristiques agronomiques et Morphologiques d'Orges oasiennes (*Hordeum vulgare L.*) de la région d'Adrar (Algérie). *Recherche Agronomique*, Ed. INRA, Alger. (19) : 7-13.

**Rao, D.N. Le Bmanc, B.F. 1956.** Effects of sulfur dioxide on the lichen alga, with special reference to chlorophyll. *Bryologist*, 69: 69-75.

**Riou, C. 1993.** L'eau et la production végétale. *Séchersse*, (2): 75-80.

**Saulnier, L. 2012.** Les grains de céréales: diversité et compositions nutritionnelles. *Cahier de nutrition et diététique* (47): 45-515.

**Sayoud, R. et Benbelkacem, K. 1996.** Situation des maladies des céréales en Algérie. In : Proceeding du Symposium Régional sur les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires, Rabat (Maroc), p. 69-70.

**Schut, H. 1996.** Role de la solitude et de soutien social dans l'adaptation à la perte : un test de l'attachement par rapport a la théorie de stress. *Journal de la personnalité et de la psychologie sociale*, (6) : 1241-1249.

**Schwartz, C. 2007.** Salinisation des sols : processus, causes, effet et gestion des sols diapositif.

**Shaheene, A. Mohamed, F. Hata, S. and Siddiqui, M. H. 2005.** Exogenous application of gibberellic acid counteracts the effect of sodium chloride in mustrad Turk. *J. biol*, (29) : 233-236.

- Shainberg, L. 1975.** Salinité des sols. Effet de la salinité sur la physique et la chimie des sols (15) : 39-55.
- Simon, M. Codaccioni, P. et Coeurx, L. 1989.** Identification et classification des variétés d'Orge cultivées en France, éd. INRA, France. 16p.
- Société Malteurop. 2000.** Elaboration des malts utilisés en brasserie, techniques de l'ingénieur, F 6200.
- Strogonov, B.P. 1973.** Structure et fonction des cellules végétales dans les habitats salins, *sciences*, (184) : 1067-1068.
- Szabolcs, I. 1992.** Soils and salinization. In: Handbook of Plant and Crop stress. Marcel Dekker, New York, 3-11 p.
- Tambelini, C. 1995.** Effect of saline and water stress and early aging on the « Algerroba » seed germination. *pesq Agropec Bras*, (30) : 1289-1295.
- Toumi, M. Barris, S. and Aid, F. 2014.** Effects of water and osmotic stress on the accumulation of colza (*Brassica napus* L.). Bulletin de l'institut Scientifique : section sciences de la vie 36 : 17-24.
- Tremblin, G. 2000.** Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis*: plante pionnière des sebkhas de l'ouest Algérien. *Sécheresse*, 11 (2): 109-116.
- Wang, Y. Nii, N. 2000.** Changes in chlorophyll. Ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase, glycine butane content, photosynthesis et transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *the journal of horticultural science and Biotechnology*, (6) : 623-627.
- Wanjogu, S.N. Muya, E.M. Gicheru, P.T. and Waruru, B.K. 2001.** Soil degradation: Management and rehabilitation in Kenya. Proceedings of the FAO/ISCW expert consultation on Management of Degraded Soil in Southern and Eastern Africa (MADS- SEA) 2nd Networking Meeting, September 2000, Pretoria, South Africa.p 102-113.
- Whaite, P.R. and Nackoney, N. 2003.** Drylands, people and services : a web-based geospatial analysis. World resources institute. Washington, 58p.
- Wri, A. 2002.** Drylands, people and ecosystem goods and services : a web-based geospatial analysis, 58p.
- Yamaguchi, T. and Blumwald, E. 2005.** Developing salt tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Tendances Plant Sci.* 10 (12): 615-620
- Zhu, C. Schrant, D. Hartung, W. Schaffner, A. R. 2005.** Differential responses of maize MIP genes to salt stress and ABA. *J.Exp.Bot.* (421): 2971-2981.

**Site web**

- [1]. <http://dico-sciences-animales.cirad.fr/liste-mots.php?fiche=19625&def=orge> 1/05/2020.
- [2]. <http://www.blog.agriconomie.com> 12/05/2022.
- [3]. <http://faostat.fao.org>. <http://www.mesmarches.chambagri.fr/menuhorizontal/apprendre-les-marches/marches-physiques/marche-de-lorge.html> 30/04/2022.
- [4]. <http://www.agro.basf.fr/fr/culturesorge/ravageurs-de-l-orge.com> 26/02/2022.
- [5]. <http://www.ussl.ars.usda.gov/saltoler.htm> 15/04/2022.

# *Résumés*

## **Résumé**

La présente étude vise à examiner l'effet du stress salin sur le comportement physiologique et biochimique d'une variété d'orge (*Hordeum vulgare* L.), soumise à des concentrations croissantes de NaCl (0 mM, 100 mM, 150 mM, 200 mM et 250 mM.). L'essai de germination a été réalisé dans des boîtes de pétri au niveau de laboratoire de la faculté et l'essai de croissance dans des pots et sous une serre en plastique. Les différents paramètres relatifs à la germination des graines et à la croissance des plantules ont été estimés.

Les résultats obtenus à l'issue de cette étude ont montré que l'application du stress salin a entraîné une diminution pour l'ensemble de paramètres mesurés et l'effet du stress varie en fonction de la concentration saline. Le pourcentage de germination, la longueur de la radicule et celle de la tigelle sont réduits sous l'effet du sel surtout aux fortes doses. Quant à l'essai de croissance, l'application de ces traitements salins cause un stress aux plantules d'orge qui s'exprime par un décroissement de tous les paramètres mesurés (hauteur des plantes, longueur de la racine principale, surface foliaire, le poids frais et sec des parties aériennes et souterraines et la teneur en chlorophylle totale) à l'exception de la teneur en sucres solubles qui croît avec la concentration du milieu en sels.

En terme de cette étude, il convient de signaler que la variété d'Orge testée s'est montrée tolérantes aux fortes concentrations de NaCl allant à 250 mM, pour cela, cette variété pourrait être conseillée comme culture des sols affectés par la salinité.

**Mots clés:** Orge, stress salin, NaCl, germination, croissance

**Abstract**

This study aims to examine the effect of the salt stress on physiological and biochemical behaviour of barley variety (*Hordeum vulgare*. L), submitted to increasing concentrations of NaCl (0 mM, 100 mM, 150 mM, 200 mM, 250 mM). The test of germination was realised in boxes of petri in the laboratory of the faculty and the test of growth in pots under greenhouse, the different relative parameters in germination of seedling were estimated.

The study shows that the application of salt stress has resulted a deminution for the set of measured parameters and the stress effect varies depending on salt concentrations. The percent of germination, the length of the radicle and that of the stem were reduced under the effect of salt, especially at high doses at the test of growth, the application of this saline treatment causes a stress on barley seedlings which is expressed by a decrease of all the measured parameters (height of plants, length of the main root, leaf area, fresh and dry weight of the aerial and underground parts and total content chlorophyll) except the soluble content sugar that increases with the concentration of salt in medium.

In terms of this study, it should be noted that the barley variety tested showed up tolerant at high concentration of NaCl going to 250 mM, for that, this variety can be advised as culture of soils affected by salinity.

**Key words** : barley, saline stress, NaCl, germination, growth.

تهدف هذه الدراسة الى تقييم مدى تأثير الإجهاد الملحي على بعض الخصائص الفيزيولوجية و الكيمائية الحيوية لصنف من الشعير (*Hordeum vulgare .L*) ، عرض لتراكيز متزايدة من كلوريد الصوديوم (0 ميلي مول، 100 ميلي مول، 150 ميلي مول، 200 ميلي مول، 250 ميلي مول) وقد أجريت تجربة الإنبات داخل علب بتري على مستوى مخبر الكلية و تجربة النمو داخل أصص على مستوى البيت البلاستيكي و تم تقدير المعايير المختلفة المتعلقة بإنبات البذور و نمو النبات.

بينت النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة أن الاجهاد الملحي أدى الى انخفاض في جميع المعايير المدروسة و يختلف تأثير الإجهاد باختلاف تركيز الملح ، حيث تم تسجيل انخفاض في نسبة الإنبات طول السويقة و طول الجذير تحت تأثير الملح خاصة في التراكيز العالية. بالنسبة لاختبار النمو، فإن الإجهاد الملحي المطبق على نباتات الشعير تسبب في تناقص جميع المعايير المقاسة (طول النباتات، طول الجذر الرئيسي، المساحة الورقية، الوزن الطري و الجاف للجزء الهوائي و الترابي و محتوى الكلوروفيل الكلي) باستثناء محتوى السكر الذائب الذي يزداد مع زيادة تركيز الملح في الوسط.

من خلال نتائج هذه الدراسة، يمكن اعتبار صنف الشعير الذي تم اختياره متحمل لتراكيز عالية من كلوريد الصوديوم تصل الى 250 ميلي مول. و لهذا يمكن استعمال هذا الصنف كمحصول في الترب التي تعاني من الإجهاد الملحي.

**الكلمات المفتاحية:** الشعير، الاجهاد الملحي، كلوريد الصوديوم، انبات، نمو.



# *Annexes*

## Annexes

**Tableau 01:** Pourcentage de germination (%) d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentration	0 mM	100 mM	150 mM	200 mM	250 mM
Pourcentage de germination (%)	100	80	70	46,44	23,33

**Tableau 02:** La longueur de la racicule (cm) d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentration	0 mM	100 mM	150 mM	200 mM	250 mM
La longueur de la racicule (cm)	9,23	4,95	2,08	1,33	0,27

**Tableau 03:** La longueur de la tigelle (cm) d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentration	0 mM	100 mM	150 mM	200 mM	250 mM
La longueur de la tigelle (cm)	9,15	2,82	0,33	0	0

**Tableau 04:** La hauteur des plantes (cm) d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentration	0 mM	100 mM	150 mM	200 mM	250 mM
La hauteur des plantes (cm)	30,23	28,83	26,26	25,86	22,4

**Tableau 05:** La longueur de la racine (cm) d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentration	0 mM	100 mM	150 mM	200 mM	250 mM
La longueur de la racine (cm)	16,7	10,93	9,36	8,03	7,5

**Tableau 06:** La surface foliaire (cm<sup>2</sup>) d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentration	0 mM	100 mM	150 mM	200 mM	250 mM
La surface foliaire (cm <sup>2</sup> )	8,5	4,81	2,33	0,19	0,16

**Tableau 07:** Le poids frais de la partie aérienne (mg) d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentration	0 mM	100 mM	150 mM	200 mM	250 mM
Le poids frais de la partie aérienne (g)	570,11	481,86	364,14	274,37	263,9

**Tableau 08:** Le poids frais de la partie racinaire (mg) d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentration	0 mM	100 mM	150 mM	200 mM	250 mM
Le poids frais de la partie racinaire (g)	200,18	108,66	105,39	98,43	97,14

**Tableau 09:** Le poids sec de la partie racinaire (mg) d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentration	0 mM	100 mM	150 mM	200 mM	250 mM
Le poids sec de la partie racinaire (g)	24,25	18,49	17,83	16	13,88

**Tableau 10:** Le poids sec de la partie aérienne (mg) d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentration	0 mM	100 mM	150 mM	200 mM	250 mM
Le poids sec de la partie aérienne (g)	58,09	49,47	39,5	34,01	31,59

**Tableau 11:** La teneur en chlorophylle ( $\mu\text{g/g}$ ) d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentration	0 mM	100 mM	150 mM	200 mM	250 mM
La teneur en chlorophylle ( $\mu\text{g/g}$ )	13,663	12,201	11,11	9,882	7,23

**Tableau 12:** La teneur du dosage de sucre ( $\mu\text{g/g}$ ) d'Orge soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentration	0 mM	100 mM	150 mM	200 mM	250 mM
La teneur du dosage de sucre ( $\mu\text{g/g}$ )	13,663	12,201	11,11	9,882	7,23

**Annexe 01** : Analyse de la variance de pourcentage de germination (%)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Concentration	4	10626,7	2656,67	36,23	0,00
Erreur	10	733,3	73,33		
Total	14	11360,0			

**Annexe 02** : Résultats des tests de Dunnett pour le pourcentage de germination (%)

Concentration	N	Moyenne	Groupement
C0	3	100,00	A
C1	3	80,00	A
C2	3	70,00	
C3	3	46,67	
C4	3	23,33	

**Annexe 03** : Analyse de la variance de la longueur de la racicule (cm)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Concentration	4	156,041	39,0103	94,30	0,00
Erreur	10	4,137	0,4137		
Total	14	160,178			

**Annexe 04** : Résultats des tests de Dunnett pour de la longueur de la racicule (cm)

Concentration	N	Moyenne	Groupement
C0	3	9,230	A
C1	3	4,950	
C2	3	2,083	
C3	3	1,330	
C4	3	0,277	

**Annexe 05** : Analyse de la variance de la longueur de la tigelle (cm)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Concentration	4	187,648	46,9120	123,91	0,000
Erreur	10	3,786	0,3786		
Total	14	191,434			

**Annexe 06:** Résultats des tests de Dunnette pour de la longueur de la tigelle (cm)

Concentration	N	Moyenne	Groupement
C0	3	9,1533	A
C1	3	2,823	
C2	3	0,110	
C3	3	0,000000	
C4	3	0,000000	

**Annexe 07:** Analyse de la variance de la longueur de la racine (cm)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Concentration	4	164,99	41,247	9,56	0,002
Erreur	10	43,14	4,314		
Total	14	208,13			

**Annexe 8:** Résultats des tests de Dunnette pour de la racine (cm)

Concentration	N	Moyenne	Groupement
C0	3	16,700	A
C1	3	10,93	
C2	3	9,367	
C3	3	8,033	
C4	3	7,500	

**Annexe 9:** Analyse de la variance de la longueur de la hauteur des plantes (cm)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Concentration	4	109,22	27,304	9,30	0,002
Erreur	10	29,37	2,937		
Total	14	138,58			

**Annexe 10:** Résultats des tests de Dunnette pour de la hauteur des plantes (cm)

Concentration	N	Moyenne	Groupement
C0	3	30,233	A
C1	3	28,833	A
C2	3	26,27	A
C3	3	25,87	
C4	3	22,4	

**Annexe 11:** Analyse de la variance de la surface foliaire (cm<sup>2</sup>)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Concentration	4	137,491	34,3727	202,73	0,000
Erreur	10	1,696	0,1696		
Total	14	139,186			

**Annexe 12:** Résultats des tests de Dunnette pour de la surface foliaire (cm<sup>2</sup>)

Concentration	N	Moyenne	Groupement
C0	3	8,507	A
C1	3	4,813	
C2	3	2,3367	
C3	3	0,913	
C4	3	0,1667	

**Annexe 13:** Analyse de la variance de poids frais de la partie aérienne (mg)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Concentration	4	212449	53112	23,40	0,000
Erreur	10	22699	2270		
Total	14	235148			

**Annexe 14:** Résultats des tests de Dunnette pour de poids frais de la partie aérienne (mg)

Concentration	N	Moyenne	Groupement
C0	3	572,12	A
C1	3	481,9	A
C2	3	364,14	
C3	3	274,4	
C4	3	263,9	

**Annexe 15:** Analyse de la variance de poids frais de la partie racinaire (mg)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Concentration	4	23173	5793	4,56	0,024
Erreur	10	12700	1270		
Total	14	35873			

**Annexe 16:** Résultats des tests de Dunnette pour de poids sec de la partie racinaire (mg)

Concentration	N	Moyenne	Groupement
C0	3	24,25	A
C1	3	18,49	A
C2	3	17,84	A
C3	3	16,01	A
C4	3	13,89	

**Annexe 17:** Analyse de la variance de poids sec de la partie aérienne (mg)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Concentration	4	1474,9	368,73	16,20	0,000
Erreur	10	227,7	22,77		
Total	14	1702,6			

**Annexe 18:** Résultats des tests de Dunnette pour de poids sec de la partie racinaire (mg)

Concentration	N	Moyenne	Groupement
C0	3	58,09	A
C1	3	49,49	A
C2	3	39,530	
C3	3	34,01	
C4	3	31,60	

**Annexe 19:** Analyse de la variance de poids sec de la partie racinaire (mg)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Concentration	4	180,7	45,16	2,53	0,104
Erreur	10	178,6	17,86		
Total	14	359,3			

**Annexe 20:** Résultats des tests de Dunnette pour de poids sec de la partie racinaire (mg)

Concentration	N	Moyenne	Groupement
C0	3	24,25	A
C1	3	18,49	A
C2	3	17,84	A
C3	3	16,01	A
C4	3	13,89	

**Annexe 21:** Analyse de la variance de la tenue en chlorophylle ( $\mu\text{g/g}$ )

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Concentration	4	71,37	17,842	6,19	0,009
Erreur	10	28,84	2,884		
Total	14	100,21			

**Annexe 22:** Résultats des tests de Dunnette pour de la tenue en chlorophylle ( $\mu\text{g/g}$ )

Concentration	N	Moyenne	Groupement
C0	3	13,66	A
C1	3	12,201	A
C2	3	11,117	A
C3	3	9,883	A
C4	3	7,238	

**Annexe 23:** Analyse de la variance de la tenue en sucre soluble ( $\mu\text{g/g}$ )

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Concentration	4	0,3135	0,07873	4,31	0,028
Erreur	10	0,1818	0,01818		
Total	14	0,4953			

**Annexe 24:** Résultats des tests de Dunnette pour de tenue en sucre soluble ( $\mu\text{g/g}$ )

Concentration	N	Moyenne	Groupement
C0	3	1,1457	A
C1	3	1,5478	
C2	3	1,3737	A
C3	3	1,291	A
C4	3	1,1813	A