

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE :DES SCIENCES  
DEPARTEMENT :DES SCIENCES  
AGRONOMIQUES



DOMAINE : SCIENCES DE LA  
NATURE ET DE LA VIE  
FILIERE : SCIENCE AGRONOMIQUE  
OPTION : PRODUCTION VEGETALE  
ET ENVIRENEMENT

N° :.....

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par: SILEM FATIHA

TIOUB ISRAA

Intitulé

**Etude du comportement de quelques variétés d'orge  
(*Hordeum vulgare* L.) vis-à-vis du stress salin.**

Soutenu devant le jury composé de:

Mr GUENDOUZEN O.	Université de M'sila	Président
Mr KADRI A.	Université de M'sila	Examineur
Melle BAKIRI N.	Université de M'sila	Rapporteur

Année universitaire : 2016 /2017

# Remerciement

Louange à Dieu tout puissant de nous avoir guidées durant toutes nos années de formation et de nous avoir permis la réalisation de ce présent travail.

Ce travail n'aurait pas vu le jour sans la confiance, la patience et la générosité de notre Encadreur, **Melle BAKIRI N.** Maitre assistant A au département des sciences Agronomique, Université Mohamed BOUDIYAFE M'SILA

Nous remercions **Mr GUENDOUZEN O.** de nous avoir fait l'honneur de présider la soutenance de notre mémoire.

Nous remercions également **Mr KADRI A.** d'avoir accepté de juger ce travail et de participer à ce jury de mémoire. Nous voudrais remercies de façon particulière **M. CHERIEF A.** chef de département des sciences Agronomiques ainsi qu'à tous nos enseignants

Nous voudrions remercier l'ensemble du personnel du Laboratoire pour leur aide, leur efficacité et leur disponibilité, plus particulièrement, **Mme DOUMI A., Mme MERZAKA C.**

Nos remerciements iront également à nos amis et collègues, **Romaissa ; Khadidja et Radia,** pour l'ambiance conviviale et les bons moments passés en leur compagnie, à toute la promotion de master II PVE 2017.

En fin, merci à tous ceux qui ont rendu possible ce travail, et même s'ils ne se retrouvent pas dans cette petite liste, ils sont dans nos pensées.

---

## DEDICACE

---

A mes parents si compréhensifs et si patients pour qui, le cycle de mes études a sûrement bien longtemps représenté un très lourd sacrifice : à toi ma chère maman **Zaghad Zakhrofa** et à toi mon cher papa **l'Ayachi** en témoignages de mon amour, reconnaissance et ma profonde affection.

Je dédie également ce mémoire à mon très cher mari **A. Elhalime** ainsi qu'à mes beaux parents.

A ma très chère sœur **Sihem**, son mari **Walid** et ses deux filles **Taaba** et **Hidaya**.

A ma très chère sœur **Mariam**, son mari **Mohamed** et sa fille **Dikera**.

A mes chères sœurs **Nawal** et **Hadjer**.

A mes chers frères **Bilal** et **Hichem**.

A mes grands-parents **Tahar**, **Rezzeki**, **Elrebhe** et **Tawse**.

A mes tantes et oncles, à mes cousins et cousines.

A toute la famille **SILEM**.

A toutes mes amies (**Halima**, **Samira**, **hada**, **Romaissa**, **Salima**, **Bassma**, **Helima**.)

A toute la **promotion 2017**.

A tous ceux que j'ai connu et je n'ai pas pu citer.

**FATIHA**

---

# DEDICACE

---

A mes chers parents.

A mes chères sœurs **Siham et Amina.**

A mes chers frères, **Yacine, Fouad, Khalid.**

A toute ma famille

A tous mes amis et collègues surtout **Romaïssa et Khadidja .**

A tous mes Professeurs

**ISRAA**

# TABLE DES MATIERES

## LISTE DES ABREVIATION

## LISTE DES TABLEAUX

## LISTE DES FIGURES

## LISTE DES ANNEXES

## INTRODUCTION GENERALE.....1

## SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

### Chapitre I : Généralité sur l'orge (*Hordeum vulgare L.*).....3

#### I.1. Origine et systématique.....3

#### I.2. Aspects génétique.....4

#### I.3. Description botanique.....4

#### I.4. Cycle de développement .....5

##### I.4.1. Période végétative.....5

###### A. La phase semis-levée.....5

###### B. La phase levée-début tallage.....6

###### C. La phase début tallage-début montée.....7

##### I.4.2. Période reproductrice ou la « montée ».....7

##### I.4.3. Période de maturation.....8

#### I.5. Ecologie de la croissance.....8

#### I.6. Production de l'orge en Algérie.....9

#### I.7. Valeur nutritive.....10

#### I.8. Utilisations et importance.....11

### Chapitre II : Influence du stress salin sur le développement des plantes.....12

#### II.1. Salinité.....12

##### II.1.1. Définition de la salinité.....12

##### II.1.2. Origine de la salinité.....12

###### A. Salinisation primaire.....12

###### B. Salinisation secondaires.....13

##### II.1.3. Principaux sels solubles.....13

##### II.1.4. Salinisation des sols.....13

##### II.1.5. Salinisation des eaux.....14

II.2. Stress salin.....	16
II.2.1. Notion du stress.....	16
II.2.2. Définition du stress salin.....	16
II.3. Mode d'action de la salinité.....	17
II.4. Effets de salinité sur les plantes.....	18
II.4.1. Effet sur la germination et la levée.....	18
II.4.2. Effet sur le développement et la croissance.....	19
II.4.3. Effet sur la physiologie.....	19
II.4.4. Effet sur le rendement.....	20
II.5. Effet de la salinité sur l'orge.....	20
II.5.1. Effet de la salinité sur la germination et la levée.....	20
II.5.2. Effet de la salinité sur la croissance et le développement.....	20
II.5.3. Effet de la salinité sur le rendement.....	21
II.5.4. Effet de la salinité sur les fonctions physiologiques.....	21

### **Chapitre 03 : Mécanismes d'adaptation et tolérance des plantes au stress salin.....**

III.1. Principe général d'adaptation et de résistance des plantes à la salinité.....	22
III.3. Tolérance des céréales à la salinité.....	24
III.4. Mécanismes de tolérance des plantes à la salinité.....	24
III.4.1. Régulation de la croissance.....	24
III.4.2. Le contrôle membranaire.....	25
III.4.3. Exclusion des ions.....	26
III.4.4. Compartimentation.....	26
III.4.5. Ajustement osmotique.....	26
III.4.6. Aspects de la tolérance au stress.....	27

## **MATERIEL ET METHODES**

<b>1. Objectif de l'essai.....</b>	<b>29</b>
<b>2. Conduit de l'expérimentation.....</b>	<b>29</b>
2.1. Présentation du site d'étude.....	29
2.1.1. Localisation.....	29
2.1.2. Caractéristiques climatiques.....	29
2.1.3. Caractéristiques édaphiques.....	30
2.2. Matériel végétal.....	30
2.3. Déroulement de l'expérimentation.....	31
2.3.1. Test de germination.....	31
2.3.1.1. Mise en culture.....	31

2.3.1.2. Paramètre étudiés.....	31
a. Taux de germination.....	31
b. Vitesse de germination.....	32
c. Longueur de coléoptile.....	32
d. Longueur de la racine.....	32
2.3.2. Culture en pots.....	32
2.3.2.1. Dispositif expérimental.....	32
2.3.2.2. Itinéraire technique.....	33
a. Mise en culture.....	33
b. Irrigation.....	33
c. Désherbage.....	33
d. Application de la salinité.....	33
2.4. Les paramètres de mesures.....	33
2.4.1. Paramètres physiologiques.....	33
a. Teneur relative en eau (TRE).....	33
b. Taux de déperdition de l'eau par la feuille excisée.....	34
c. Intégrité membranaire.....	34
2.4.2. Paramètres biochimiques.....	34
a. Teneur en chlorophylle.....	34
b. Teneur en sucres solubles.....	35
2.4.3. Paramètres morphologiques.....	35
a. Longueur de la partie aérienne.....	35
b. Surface foliaire.....	35
c. Biomasse aérienne (fraîche et sèche).....	35
<b>3. Analyse statistique.....</b>	<b>35</b>

## **RESULTATS ET INTERPRETATIONS**

<b>1. Test de germination.....</b>	<b>36</b>
1.1. Taux de germination.....	36
1.2. vitesse de germination.....	37
1.3. Longueur du coléoptile.....	37
1.4. Longueur de la racine.....	38
<b>2. Culture en pots.....</b>	<b>39</b>
2.1. Paramètres physiologiques.....	39
2.1.1. Teneur relative en eau (TRE).....	39
2.1.2. Taux de déperdition de l'eau par la feuille excisée.....	40
a) A la première heure.....	40
b) A la deuxième heure.....	41
2.1.3. Intégrité membranaire.....	42
2.2. Paramètres biochimiques.....	43

2.2.1. Teneur en chlorophylle a.....	43
2.2.2. Teneur en chlorophylle b.....	44
2.2.3. Teneur en chlorophylle totale.....	45
2.2.4. Teneur en sucres solubles.....	46
2I.3. Paramètres morphologiques.....	47
2.3.1. Longueur de la partie aérienne.....	47
2.3.2. Surface foliaire.....	48
2.3.3. Biomasse aérienne sèche.....	49
2.3.4. biomasse racinaire sèche.....	50
<b>DISCUSSION GENERALE.....</b>	<b>52</b>
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>61</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>73</b>

## LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviation	Désignation
ABA	Acide abscissique .
APX	Axorbate peroxydases.
ATP	Adenosine tri phosphate.
B	Bore.
C°	Degré sels suce
Ca	Calcium
CaCl <sub>2</sub>	Chlorure de calcium
CaCO <sub>3</sub>	Carbonate de sodium
CaSO <sub>4</sub>	Sulfate de Calcium
CAT	Catalases
CE	Conductivité électrique
Cha	Chlorophylle a
Chb	Chlorophylle
Cht	Chlorophylle totale
Cm	Centimètre
Cu	Cuver
DO	Densité optique
ESP	Pourcentage de Na <sup>+</sup> échangeable
Fe	Fer
FAO	Food and agriculture organisation
G°/°	Taux de germination
GPX	GlutathionPeroxydases
ha	Hectare
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peroxyde d'hydrogène
IG	Vitesse de germination
IM	Intégrité membranaire
ITGC	Institut Technique des Grandes Cultures
M	Mètre
Mg	Magnésium
MgCo <sub>3</sub>	Carbonate de magnésium
MgCl <sub>2</sub>	Chlorure de magnésium
MgSo <sub>4</sub>	Sulfate de magnésium
Mg	Milligramme

MF	Matière fraîche
mM	Micro molaire
Ms	Milli Siemens
N	Azote
NaCl	Le chlorure de sodium
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonate de Sodium
NADPH	Nationamide Adénine Dinucléotide Phosphate
NaHCO <sub>3</sub>	Bicarbonate de sodium
Nm	Nanomètre
O <sup>2-</sup>	Ion Oxyde
OH	Radicaux hydroxyle
PA	Partie aérien
PF	Poids frais
Pi	Poids initiale
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Phosphore
Ppt	Poids en plain de turgescence
Ps	Poids sec
QX	Quintaux
ROS	Réactive Oxygène Species
RWLx	Taux de déperdition de l'eau par la feuille excisée
SF	Surface foliaire
SOD	Su peroxyde dismutase
SOS	Salt Overly Sensitive
T	Traitement
T0	Traitement témoin
T1	Traitement 75Mm
T2	Traitement 150Mm
T3	Traitement 250Mm
TRE	Tenure relative en eau
USA	Surface agricole utile
Zn	Zinc

## LISTE DES FIGURES

**Figure n°1** : Phase semis levée (Moule, 1971).

**Figure n°2**: Phase levée –début tallage (Moule, 1971).

**Figure n° 3** : Phase début tallage –début montée(Moule, 1971).

**Figure n°4** : Stress osmotique provoqué par le gel, la sécheresse ou la salinité (Verslue et al., 2006).

**Figure n°5** : Schéma global de la signalisation des stress abiotiques et leurs réponses au niveau cellulaire (Wan et al., 2003).

**Figure n° 6**: les trois aspects de la tolérance au sel dans les végétaux (Homéostasie, détoxification et l'influence de la croissance) et les liens qui les interconnectent (Zhu, 2001).

**Figure 7** : Variation des taux moyens de germination chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

**Figure 8** : Variation des vitesses moyennes de germination chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines

**Figure 9** : Variation des longueurs moyennes des coléoptiles chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

**Figure 10**: Variation des longueurs moyennes des radicules chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

**Figure 11** : Variation des teneurs relatives en eau moyennes (TRE) chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

**Figure n°12** : Variation des taux moyens de déperdition de l'eau à la première heure chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

**Figure n°13** :Variation des taux moyens de déperdition de à la deuxième heure chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

**Figure n°14** : Variation de l'intégrité membranaire moyenne chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

**Figure n°15** : Variation des teneurs moyennes en chlorophylle a chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

**Figure n°16** : Variation des teneurs moyennes en chlorophylle b chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

**Figure n°17** : Variation des teneurs moyennes en chlorophylle totale chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

**Figure n°18 :** Variation des teneurs moyennes en sucres solubles chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

**Figure n°19:** Variation des longueurs moyennes de la partie aérienne chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

**Figure n°20 :** Variation des surfaces foliaires moyennes chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

**Figure n°21:** Variation des moyennes des biomasses aériennes sèches chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

**Figure n°22:** Variation des moyennes des biomasses racinaires sèches chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations

## **LISTE DES TABLEAUX**

**Tableau n° 1 :** La composition de l'orge, par 100 g de partie comestible (**Brink et Belay, 2006**).

**Tableau n°2 :** Classification des sols salins et sodiques (**Diédhiou, 2006**).

**Tableau n°3 :** classification des eaux salées (**Maillard, 2001**).

**Tableau n°4 :** Composés osmoprotecteurs accumulés chez les plantes en conditions de stress salin et hydrique (**Sairam et Tyagi, 2004**).

**Tableau n° 5 :** Valeurs moyennes de température pour la période: Février, Mars, Avril, Mai 2017.

**Tableau n°6:** Quelques caractéristiques des variétés étudiées

**Tableau n°7 :** Schéma du dispositif expérimentation

# LISTE DES ANNEXE

## LISTE DES ANNEXE

<b>Annexe 1:</b> Taux de germination.....	73
<b>Annexe 2:</b> Indice de germination.....	73
<b>Annexe 3:</b> Longueur du coléoptile.....	74
<b>Annexe 4:</b> Longueur de racine.....	75
<b>Annexe 5:</b> Teneur relative en eau .....	75
<b>Annexe 6 :</b> Taux de déperdition de l'eau par la feuille excisée.....	76
<b>Annexe 7:</b> Intégrité membranaire.....	77
<b>Annexe 8:</b> Teneur en chlorophylle a.....	78
<b>Annexe 9 :</b> Teneur en chlorophylle b.....	79
<b>Annexe 10 :</b> Teneur en chlorophylle totale.....	79
<b>Annexe 11:</b> Teneur en sucres solubles.....	80
<b>Annexe 12:</b> Longueur de la partie aérienne.....	81
<b>Annexe 13 :</b> Surface foliaire.....	82
<b>Annexe 14:</b> Poids sec de la partie aérienne.....	82
<b>Annexe 15 :</b> Poids sec de la partie racinaire.....	83
<b>Annexe 16:</b> Dosage des sucres solubles.....	84
<b>Annexe 17 :</b> l'analyse de sol.....	86
<b>Annexe 18 :</b> taux de germination des graines récupérées.....	86

## **Liste des figures –ANNEXES**

<b>Figure 01:</b> Courbe d'étalonnage des sucres solubles.....	<b>85</b>
--	-----------

## INTRODUCTION GENERALE

Dans les zones arides et semi-arides, la rareté des eaux, leur salinité ainsi que celle du sol figurent parmi les principaux facteurs limitant la productivité des cultures (**Ashraf, 1994**). Selon les estimations de la **FAO (2008)**, la salinité touche environ un milliard d'hectares dans le monde et elle est observée sur tous les continents. En effet, parmi les 200 millions d'hectares irrigués, 45 millions sont affectés par la salinité, cette dernière s'étend sur plus de 6% de la superficie totale de la planète (**Manchanda et Garg, 2008**), dont 3,8% sont situés en Afrique (**Eynard et al., 2006**). Chaque année, Les surfaces perdues à cause de la salinité des sols varient autour de 20 millions d'hectares dans le Monde (**Cheverry, 1995**).

En Algérie, la salinité touche une grande partie du territoire national, et y couvrent plus d'un million d'hectares (**Chaabane et Benreda, 1997**). Les sols salés sont concentrés particulièrement dans les régions à climat aride et semi-aride où les possibilités d'évaporation sont considérables et les précipitations sont limitées et/ou variables, de plus, la plupart des périmètres irrigués ou ceux de la mise en valeur dans les différentes régions du pays sont à risque moyen ou élevé de salinisation, surtout en années sèches où la salinité des eaux mobilisées augmente, engendrant une salinisation croissante des sols et une perte énorme des terres agricoles (**Chaabane et Benreda, 1997**).

La salinité élevée cause plusieurs types de stress à la plante comprenant un stress ionique entraînant l'altération de l'absorption des éléments nutritifs, spécialement des ions  $K^+$  et  $Ca^{++}$  ainsi que l'accumulation des ions toxiques, particulièrement le  $Na^+$ , un stress osmotique et un stress oxydatif. Tous ces facteurs réunis, causent des effets indésirables sur la croissance et le développement au niveau physiologique, biochimique et au niveau moléculaire (**Bray, 1997 ; Ingram and Bartels, 1996**).

En réponses aux divers stress environnementaux, les plantes ont développé un certain nombre de stratégies au niveau anatomique, physiologique, biochimique et moléculaire. De nombreuses études ont montré que des changements au niveau de la conductance stomatique, l'absorption de l'eau et des nutriments, des osmolytes et des antioxydants jouent un rôle dans la tolérance au stress (**Bray, 1997 ; Ingram and Bartels, 1996**). La réponse au sel des espèces végétales dépend de plusieurs variables, commençant par l'espèce même, de sa variété, aussi la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante (**Naceur et al., 2001; Alaoui et al., 2013**).

Malheureusement, la plupart des espèces cultivées importantes sur le plan économique sont très sensibles aux conditions de salinité (**Hopkins et Evrard, 2003**) et ne peuvent tolérer que de faibles quantités de sel. Parmi les céréales importantes sur le plan agricole, l'orge est la plus tolérante (**Hopkins et Evrard, 2003**), bien qu'elle ne soit pas considérée comme une halophyte, elle tolère cependant d'importantes quantités de sel (**Maas, 1986**) et peut ainsi constituer une voie pour une meilleure valorisation des zones affectées par la salinité. C'est la céréale dont la distribution géographique est la plus vaste à travers le monde, cette distribution très large s'accompagne d'une diversité morphologique et adaptative très importante, qui lui permet de valoriser les sols les moins favorables où elle présente des capacités d'adaptation très intéressantes à plusieurs stressés abiotiques (sécheresse, salinité...) et elle vient avec l'élevage ovin tirer le meilleur parti des zones marginales où la culture des blés ne réussit pas toujours à donner des rendements acceptables, ce qui lui confère une valeur stratégique dans l'alimentation animale et humaine comme plante fourragère et céréalière (**Maas, 1986**).

Dans ce cadre s'inscrit notre travail qui vise à déterminer l'influence de la salinité, représenté par différentes concentrations, sur le comportement de cinq variétés d'orge (*Hordeum vulgare L.*): Rihane, Saïda, Barberousse, Fouara et Tichedrette cultivées en Algérie.

Cette étude comporte trois grandes parties la première partie contenant trois chapitres a été réservée à une synthèse bibliographique, le premier chapitre a porté sur une étude générale de l'espèce cultivée (présentation, description...etc.), le deuxième, il est présente l'influence de la salinité sur le développement des plantes, et le troisième présente les mécanismes d'adaptation et de tolérance des plantes au stress salin. Dans la deuxième partie, nous avons présenté le matériel végétal étudié et les différentes méthodes appliquées pendant la germination jusqu'au début floraison des plants, et la troisième partie porte les résultats et discussions. Enfin, dans la conclusion générale nous avons synthétisé tous les résultats obtenus et développé les perspectives de cette étude.

## SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

### Chapitre I : Généralités sur l'orge

#### I.1. Origine et systématique

L'orge figure parmi les céréales les plus anciennement cultivée, trouvant des traces au Proche-Orient (**Botineau, 2010**) dans la région nommée le croissant fertile (l'Irak et l'Iran d'aujourd'hui) (**Brink et Belay, 2006**), qui comprend l'arc de l'actuel Israël central, sur l'ouest de la Jordanie, le Liban, la Syrie, la Turquie SE, l'Irak et les montagnes Zagros dans l'ouest de l'Iran (**Bothmer et al., 2003**). Des études récentes disent qu'elle serait plutôt originaire des régions montagneuses d'Éthiopie et d'Asie du sud-est (**Paquereau, 2013**), trouvant sa trace au Proche-Orient au moins 7 000 ans avant notre ère et en Éthiopie il y a près de 10 000 ans (**Botineau, 2010**) au Sahara elle était cultivée dans les oasis en 100-300 av. J.-C. (**Brink et Belay, 2006**).

Selon, **Reddy et al. (2004)**, **Soderstrom (1987)** et (**Renvoize et Clayton, 1986**) l'orge cultivée appartient à la classification botanique suivante :

**Règne:** Plantae

**Division:** Magnoliophyta

**Classe:** Liliopsida

**Sous Classe:** Commelinidae

**Order:** Poales

**Famille:** Poaceae

**Sous famille:** Hordeoideae

**Tribu:** Hordeae

**Sous Tribu:** Hordeinae

**Genre:** Hordeum

**Espèce:** *Hordeum vulgare* L

L'orge appartient à l'un des groupes végétaux les plus importants du monde, le Triticeae, qui est une tribu (tribu) dans la famille des Poaceae. (**Ullrich, 2010**). Le genre *Hordeum* comporte 34 espèces (une seule est cultivée pour son grain) qui sont généralement diploïdes à  $2n = 14$  chromosomes, mais il existe des espèces sauvages tétra- ou hexaploïdes (**Doré et Varoquaux, 2006**). La section Vulgare comprend les trois espèces *H. vulgare*, *H. bulbosum* et *H. murinum*. L'*Hordeum vulgare* se divise en 2 sous—espèces: *H. vulgare* sub sp. *Vulgare*, qui rassemble toutes les orges cultivées et *H. vulgare* sub sp. *Spontaneum* (**Doré et Varoquaux, 2006**). Le parent sauvage de l'orge est *hordeum spontaneum* ( $2n = 14$ ). Il se

produit dans la région de la Méditerranée orientale, Turkménie et Afghanistan (**Srivastava et Gopal, 2008**).

## **I.2. Aspects génétique**

La plupart des espèces, comme l'orge cultivée, sont des diploïdes ( $2n = 2x = 14$ ), mais les tétraploïdes ( $2n = 4x = 28$ ) et les hexaploïdes ( $2n = 6x = 42$ ) sont également fréquents. L'autoploïdie se trouve chez deux espèces, *H. bulbosum* et *H. brevisubulatum*. La majorité des polyploïdes sont des allopolyploïdes segmentaires comprenant différentes variantes du génome basique I (**Bothmer et al., 2003**). L'orge a le plus faible nombre de chromosomes ( $2n = 14$ ) par rapport au blé ( $2n = 42$ ), au riz ( $2n = 24$ ) et au maïs ( $2n = 20$ ). La taille du génome (1C) de l'orge (4873 - 5096 Mbp) (**Ullrich, 2010**).

## **I.3. Description botanique**

L'orge est une graminée annuelle qui peut croître jusqu'à une hauteur de 1 m. (**Nyabyenda, 2005**). **Paquereau (2013)**, rapporte que la hauteur de la plante est variable suivant les conditions de culture et naturellement des variétés (40 cm à 1 m environ). Selon **Thielens (1862)**, l'orge est une plante annuelle à tiges cylindriques, dressées, creuses, glabres, comprend cinq ou six inter-nœuds qui sont séparés par des structures denses appelées nœuds d'où naissent les feuilles. (**Soltner, 1988**).

Les feuilles surviennent à partir de nœuds portés alternativement sur les côtés opposés. Les feuilles sont glabres, Laisse rugueuse lancéolée vert clair plus large avec de petites ligules, Les oreillettes sont remarquables, la Gaine en serrant le Inter-nœud en dessous (**Mukund, 2015**).

L'inflorescence est toujours en épi cylindrique de 5-10 cm de long, composée de groupes de 3 épillets disposés de façon alterne (**Brink et Belay, 2006**). Il est pointu ou porté à la tête du haut de la tige, avec des épillets attachés à des zigzag rachis de, chaque épillet a deux glumes et un fleuron, mais les spikelets sont en groupe de trois l'épillets sont fertiles dans l'orge à six rangs, tandis que l'épillet central est fertile dans l'orge à deux rang, chaque épillet à deux glumes se terminant par une arête (**Mukund, 2015**).

La fécondation est autogame. Le fruit est un caryopse aplati et cannelé d'un côté, de taille variable selon le cultivar, poilu à l'extrémité (**Brink et Belay, 2006**).

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, cependant l'assise à aleurone comporte trois couches de cellules au lieu d'une seule (**Clément et Prats, 1971**).

Le système racinaire se forme de huit racines, pratiquement équivalentes sous l'axe hypocotylé et libres dans la cavité commune de la coléorhize. Les nombreuses racines séminales (jusqu'à 8) sont fines, se ramifient en un abondant chevelu et pénètrent profondément dans le sol, tandis que les racines culmaires sont relativement peu nombreuses, assez épaisses et non ramifiées (**Félix, 1962**). Selon **Moule (1971)**, toute céréale dispose, au cours de son développement, de deux systèmes radiculaires successifs.

- ✓ **Le système de racines primaires ou séminales** : fonctionnel de la levée au début du tallage. Ce système est constitué d'une racine principale et de deux paires de racines latérales, soit 5 racines; éventuellement se développe une sixième racine à partir de l'épi blaste.
- ✓ **Le système de racines secondaires ou de tallage** : apparaissant au moment où la plante émet ses talles, ce système se substitue alors progressivement au précédent.

#### **I.4. Cycle de développement**

La plupart des espèces sont vivaces de courte ou longue durée de vie. Les annuelles se sont développées indépendamment à partir des vivaces dans différentes parties du monde grâce à l'adaptation à des exigences écologiques particulières (**Ullrich, 2010**). D'après (**Moule, 1971**), le cycle de développement d'une céréale comprend trois grandes périodes :

**I.4.1. Période végétative** : Celle-ci comprend elle-même trois phases :

##### **A. La phase semis-levée**

Le zéro de germination du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) est de 0°C (**Clément, 1981**).

La germination se traduit par la sortie des racines séminales de la coléorhize et, à l'opposé, par la croissance d'une préfeuille, la coléoptile. Celui-ci sert de manchon protecteur et perforateur du sol pour la première feuille qui sera fonctionnelle et percera le sommet de la coléoptile peu après l'apparition de ce dernier au niveau du sol (**Moule, 1971**).

Les principaux facteurs édaphiques qui interviennent dans la réalisation de cette phase sont, la chaleur, l'aération et l'humidité (**Eliard, 1979**).

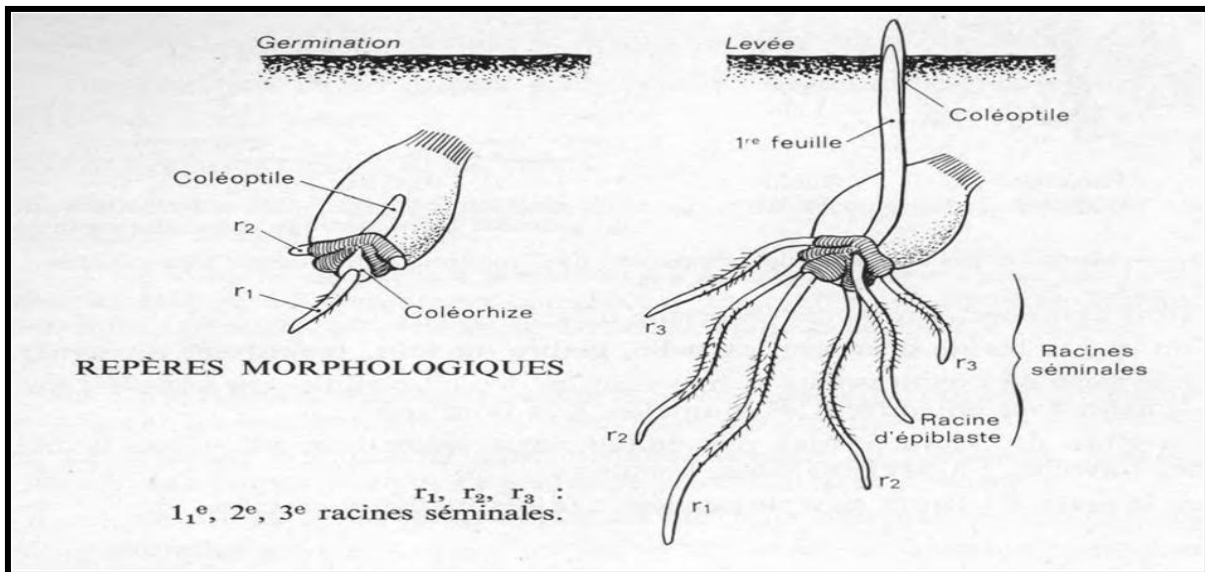


Figure 01 : la phase semis levée (Moule, 1971).

### B. La phase levée-début tallage

Dès que la première feuille a percé l'extrémité de la coléoptile, celui-ci s'arrête de croître et peu à peu se dessèche (Moule, 1971).

La première feuille fonctionnelle s'allonge, puis la deuxième, jusqu'à la quatrième toutes en position alterne. Celles-ci, imbriquées les unes dans les autres, partant toutes d'une zone située au proche de la surface du sol appelée plateau de tallage, constituée par l'empilement d'un certain nombre d'entre-nœuds et reliées à la semence par le rhizome (Clément, 1981).

Pendant toute cette phase, la vitesse de croissance des feuilles dépend essentiellement de la température. D'autre part, sur le plan nutritif, la plantule dépend uniquement de son système primaire de racines et de ses réserves (Moule, 1971).

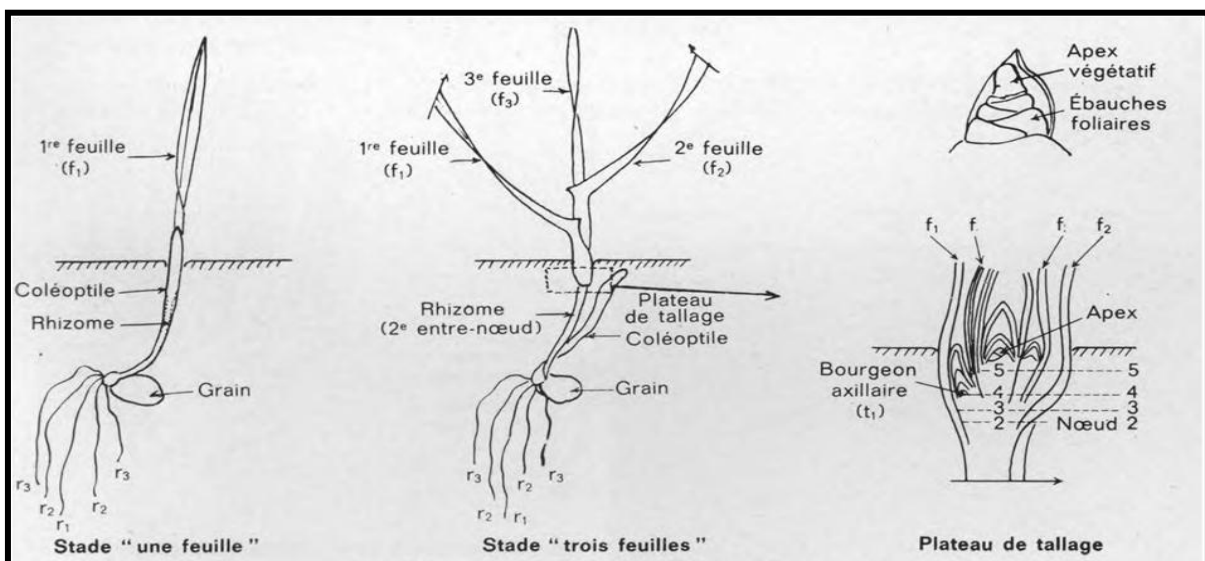


Figure 02: la phase levée –début tallage (Moule, 1971).

### C. La phase début tallage-début montée.

Le tallage est caractérisé par l'entrée en croissance de bourgeons différenciés à l'aisselle de chacune des premières feuilles : il s'agit donc d'un simple processus de ramification. La première talle (t1) apparaît généralement à l'aisselle de la première feuille lorsque la plante est au stade « 4 feuilles » (Moule, 1971).

Le nombre de talles émises par plante est fonction de l'espèce (l'orge talle beaucoup plus que le blé tendre), de la variété, du climat, de l'alimentation de la plante en azote, de la profondeur de semis (Soltner, 1990). Le facteur nutritionnel peut modifier la vitesse du tallage herbacé, la durée du tallage et le nombre de talles (Austin et Jones, 1975).

La fin du tallage représente la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Gate, 1995).

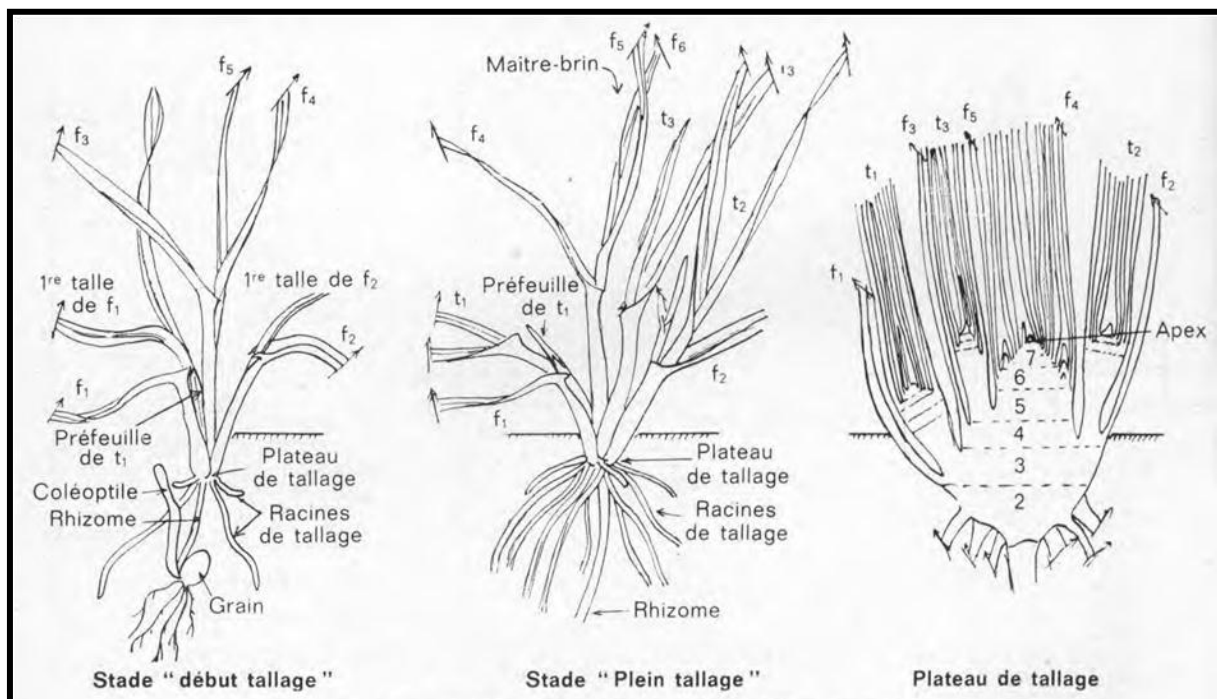


Figure 03 : la phase début tallage –début montée (Moule, 1971).

#### I.4.2. Période reproductrice ou la « montée »

Elle s'étend de la montaison à la fécondation

##### -Phase de la montaison- gonflement

Un certain nombre de talles herbacées vont évoluer vers des tiges couronnées d'épis, tandis que d'autres commencent à régresser. La croissance entaille et en matière sèche est alors active. Cette phase se termine au moment de la différenciation des stigmates. La durée de cette phase est de 29 à 30 jours (Clément et Prat, 1970).

### **-Phase de l'épiaison**

Cette phase correspond à l'élaboration d'une grande quantité de la matière sèche, à l'organisation détaillée des épillets et à la fécondation. La durée de cette phase est d'environ 32 jours. Cette phase est suivie par le grossissement du grain qui devient mou et le dessèchement de presque toutes les feuilles. Sa durée est de 16 à 17 jours (**Clément et Prat, 1970**).

### **- Phase épiaison – floraison**

Elle est marquée par la méiose pollinique et l'éclatement de la gaine avec l'émergence de l'épi. C'est au cours de cette phase que s'achève la formation des organes floraux (l'anthèse) et s'effectue la fécondation. Cette phase est atteinte quand 50 % des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille (**Gate, 1995**).

### **I.4.3. Période de maturation**

La phase de maturation succède au stade pâteux (45 % d'humidité). Elle correspond à la phase au cours de laquelle le grain va perdre progressivement son humidité en passant par divers stades (**Gate, 1995**). Elle est caractérisée par l'élaboration des substances de réserve (amidon, protéines) et par la migration de celles-ci dans l'albumen du grain (**Mazoyer, 2002**). L'orge est prête à être récoltée lorsque le taux d'humidité du grain atteint 35-40%, la récolte se fait à la main à l'aide d'une faucille, ou à la moissonneuse batteuse (**Brink et Belay, 2006**).

### **I.5. Ecologie de la croissance**

L'orge est la céréale dont l'aire de culture couvre les zones écologiques les plus diverses depuis 70°N en Norvège jusqu'à 44°S en Nouvelle-Zélande (**Brink et Belay, 2006**). Dans ce cadre, l'orge est une espèce de choix, elle présente des capacités d'adaptation à plusieurs stress abiotiques (sécheresse, salinité...) (**Merah B. T. et al., 2001**).

Le zéro de germination est proche de 0°C, elle exige une photopériode de douze à treize heures pour monter. le cycle végétative est d'ordre de 250 jours, pour une somme de températures de 1900 à 2000 degrés pour l'orge d'hiver et de 110 à 120 jours pour l'orge de printemps avec un somme de températures de 1600 à 1700 degrés jours (**Mazoyer, 2002**). Elle supporte les températures élevées sous des climats secs et l'humidité sous climats frais, mais elle est mal adaptée aux climats chauds et humides, l'orge d'hiver nécessite une vernalisation par une période de basses températures (de 3-12°C) (**Brink et Belay, 2006**). Comparée aux autres céréales, l'orge est bien adaptée aux environnements arides, des études écologiques ont montré que le système racinaire du progéniteur immédiat de l'orge cultivée *H. Vulgare ssp. Spontaneum* pénètre profondément dans les steppes chaudes et les déserts (**Bothmer et al.,**

2003).La capacité des plantes à survivre à de basses températures hivernales est un phénomène impliquant un certain nombre de facteurs, dont la durée et la sévérité du gel(Slafer,1993).

La sécheresse est le facteur le plus important qui limite le rendement de l'orge. (Slafer,1993).L'orge a également une très bonne résistance à la sécheresse par rapport aux autres petits grains. Cette fonctionnalité lui permet de se développer près des zones désertiques comme l'Afrique du Nord (Guoping zhang, 2009).L'orge a besoin de beaucoup d'humidité, au moins 500 mm de pluie, pendant la végétation pour bien produire (Nyabyenda, 2005).

Dans les conditions méditerranéennes, le stress hydrique est particulièrement fréquent à la fin du cycle de vie de l'orge, car le remplissage du grain se produit habituellement sous des exigences évapotranspiratives relativement élevées et de faibles précipitations (Bothmer et al., 2003).

Quant au type du sol, se sont les limons ou les sols légèrement argileux bien drainés et fertiles qui conviennent le mieux à la production d'orge. L'orge supporte mieux les sols alcalins que les autres céréales mais elle ne tolère pas les sols acides ; un pH de 6-8,5 est généralement acceptable. Elle est très sensible à l'asphyxie racinaire (Brink et Belay, 2006).Selon (Bothmer et al., 2003), l'orge est cultivé et utilisé dans les sols fertiles et dans les sols dans des conditions extrêmes, y compris à des altitudes allant jusqu'à 4 500 m dans l'Himalaya, les zones inondées saisonnièrement en Asie du Sud-est et dans les régions arides de la Méditerranée. L'orge montre ainsi un très large spectre d'adaptation. La salinité des sols et la sodicité des sols sont des problèmes courants dans les zones arides et semi-arides. Les génotypes cultivés dans ces zones marginales doivent tolérer la salinité du sol. L'orge était plus tolérante au sel que le blé.

## **I.6. Production de l'orge en Algérie**

La production céréalière s'est établie à 37,5 millions de quintaux (q) pour la campagne 2014-2015, soit 2 millions de tonnes de blé dur, 1 million de tonnes d'orge et 6361849 tonnes de blé tendre (Onfaa, 2015).

Le rendement de l'orge enregistrée dans la wilaya de M'sila en 2016 est de 190000 Qx/9100 ha, la meilleur production d'orge en la période 2012-2016 était en l'année 2012 (300000 Qx /27000ha) et la commune la plus productive on cette année est Ouled Mansour avec 25800 Quintaux par 2320 hectares (DSA, 2016).

Les principales variétés de l'orge cultivées dans la région de Msila en 2015/2016 sont Saïda avec un rendement de 17Qx/ha, Fouara avec 26Qx/ha, Tichedrette avec 23Qx/ha, auxquelles s'ajoutent les variétés locales avec un rendement de 21Qx/ha.

La rotation dominante était l'orge - jachère, que plusieurs études ont montré comme la meilleure rotation dans les zones sèches (Ullrich, 2010).

### **I.7. Valeur nutritive**

La couche d'aleurone du grain d'orge mature comprend deux ou trois couches de cellules à parois épaisses riches en réserves de stockage: lipides, protéines et minéraux. Les lipides sont présents sous forme de gouttelettes d'huile et l'expression des transcrits d'oléosine pendant le développement du grain (Ullrich, 2010).

**Tableau 01 :** La composition de l'orge, de partie comestible (Brink et Belay, 2006).

<b>Elément</b>	<b>Valeur</b>
Eau	9,4 g
Energie	1482 KJ(354 Kcal)
Protéines	12,5g
Lipides	2,3 g
Glucides	73,5 g
fibres alimentaires	17.3 g
Mg	133 mg
P	264 mg
Fe	3,6 mg
Zn	2,8mg
vitamine A	22 UI
thiamine	0,65 mg
riboflavine	0,29 mg
Niaenine	4,6 mg
vitamine B6	0,32 mg
Folates	19 ug
acide ascorbique	0 mg

La teneur relativement élevée en fibres alimentaires présente un intérêt sur le plan nutritionnel. Car il est prouvé que l'augmentation de ces fibres aide à lutter contre le diabète

l'hyperlipidémie, l'obésité, l'hypertension, les maladies coronariennes et divers troubles gastro-intestinaux (Brink et Belay, 2006).

## **I.8. Utilisations et importance**

Dans la plupart des pays, la majeure partie de l'orge est nourrie aux animaux, en particulier les bovins et les porcs (Guoping zhang, 2009), il représente toutefois une importante ressource énergétique en alimentation animale (orge de monture) mais pauvre en protéines, qui demande à être complétée par des molécules azotées (François et Gaudry, 2016). Elle a été de tout temps la base de l'alimentation des chevaux dans les pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord, la vigueur du cheval arabe n'a pas été démentie pour autant (Wolter, 1999).

L'orge occupe une place importante parmi les espèces fourragères. Par sa production en vert, en foin (en association avec d'autres espèces), en ensilage et par son grain et sa paille, l'orge est l'élément clé de toute la production fourragère en Algérie (INRAA, 2006). C'est une espèce utilisée aussi pour fabriquer une boisson alcoolisée, la cervoise des gaulois, qui deviendra la bière (Botineau, 2010).

## **CHAPITRE 02 : Influence du stress salin sur le développement des plantes.**

### **II.1.Salinité**

La salinité, enregistrée dans les écosystèmes arides et semi arides, résulte de forte évaporation d'eau à partir du sol et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrique (**Hassani et al., 2008**).

#### **II.1.1. Définition de la salinité**

La salinité peut être définie comme une accumulation excessive de sels dans les soles ou dans les eaux à un seuil pouvant avoir un impact sur les activités humaines et naturelles (plantes, animaux écosystèmes aquatiques, approvisionnement en eau, agriculture,...) (**El Mokhtar, 2010**). D'après **Asloum (1990)**, elle peut être définie, aussi, comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles. Causée par la combinaison de quatre cations ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K$  et  $Na$ ) et de quatre anions ( $Cl^{-}$ ,  $So_4^{-2}$ ,  $No_3^{-}$ ,  $Hco_3^{-}$ )(**Faghire, 2012**). Elle a été identifiée comme un processus majeur de la dégradation des terres, et à l'origine de la diminution de la production sur de nombreux périmètres irrigués, particulièrement dans les zones arides et semi-arides (**El-Hendawy, 2004**). Elle est fréquente dans les écosystèmes arides et semi-arides et résulte de la forte évaporation d'eau à partir du sol et d'une irrégularité et une insuffisance de pluviométrie (**Tanji, 2002**).

#### **II.1.2. Origine de la salinité**

La salinisation des terres est à 80% d'origine naturelle. On parle alors de salinisation "primaire", due aux sels se formant lors de l'altération des roches ou à des apports naturels externes (**Bryssine, 1961**). Alors que 20% des terres salinisées ont une origine "anthropique". On parle alors de la salinisation "secondaire", induite par l'activité humaine, liée aux pratiques agricoles et en particulier à l'irrigation (**FAO, 2008**).

##### **A. Salinisation primaire**

On parle d'une salinisation naturelle (**chamekh, 2010**), elle est résultat de l'accumulation des sels sur une longue période de temps, dans le sol ou dans les eaux souterraines(**Antipolis, 2003**). Provenant de l'altération de la roche mère saline par les facteurs d'érosion, la dissolution par les eaux de ruissellement des roches sédimentaires qui sont riche en chlorures , sulfate et carbonate , ainsi que provoquée par l'eau de pluie souvent acide ( $H_2CO_3$ ), mais aussi par des agents physiques (**Hammou, 2010**).

## **B. Salinisation secondaires**

Résultat d'activités agricoles sur un sol déjà formé (**Maniguet, 2003**). Qui modifient l'équilibre du sol entre l'eau appliquée (irrigation ou de pluie et de l'eau utilisée par les cultures (transpiration) (**Noomene, 2011**). Les causes les plus communes sont le défrichage et le remplacement de végétation pérenne par les cultures annuelles ainsi que les systèmes d'irrigation utilisant l'eau riche en sels ou ayant un drainage insuffisant (**Antipolis, 2003**).

### **II.1.3. Principaux sels solubles**

Les sels solubles sont tous les sels plus solubles à l'eau que le gypse (**Halitim, 1988**). D'après **Aubert (1982)**, les principaux sels solubles qui participent dans la formulation des sols salés sont :

- ✓ Les carbonates : les plus rencontrés sont les carbonates de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ), carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) et le carbonate de magnésium ( $\text{MgCO}_3$ ).
- ✓ Les sulfates : ce sont les sels de l'acide sulfurique et les plus fréquents sont : le sulfate de magnésium ( $\text{MgSO}_4$ ), sulfate de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), et le sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4$ ).
- ✓ Les chlorures : principalement : le chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ), le chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ) et chlorure de magnésium ( $\text{MgCl}_2$ ), ce sont plus soluble et forte toxicité.

**Antipolis (2003)**, rapporte que la vitesse et le degré de l'augmentation des sels (sels solubles) dépendront du lessivage c'est-dire la quantité d'eau apportée par irrigation ou par des pluies, de la composition ionique de l'eau d'irrigation et la tendance de quelques ion et des propriétés physiques du sol tels que l'infiltration.

### **II.1.4. salinisation des sols**

A très faible concentration, certains sels présents à l'état naturel dans le sol sont absorbés comme éléments nutritifs par les végétaux, cependant, à des concentrations plus élevés, les sels solubles peuvent empêcher les racines d'absorber l'eau et les éléments nutritifs et, ainsi, restreindre la croissance des plants cultivés, d'où un rendement plus faible (**Wiebe et al., 2001**). Selon **Mermoud (2006)**, la salinisation des sols peut être due à l'utilisation d'une eau d'irrigation de qualité médiocre et lessivage naturel insuffisant, à la remontée de la nappe souterraine à proximité de la surface et transport de sels par remontées capillaires et à l'ixiviation des sels solubles et /ou à l'évaporation qui déposent leurs sels dans les sols.

Les sols salés occupent de surfaces très importantes dans le monde, particulièrement dans les zones aride et semi-aride (**Roederer, 1964**). Le même auteur signale qu'un sol est considéré comme salé lorsque la concentration en sels des solutions dépasse 0.5g/l, cette

concentration est le plus souvent mesurée par la conductivité électrique (CE) de la solution du sol saturée exprimée en mhos/cm. La quantité de sel stocké dans le sol varie en fonction du type de sol, elle est faible pour les sols sableux et élevée pour les sols argileux. Elle est également inversement proportionnelle à la pluviométrie moyenne annuelle (Antipolis, 2003).

**Tableau 2 :** Classification des sols salins et sodiques (Diédhiou, 2006).

termes	Descriptions	Terme Effets sur la croissance des plantes	Définitions	Commentaire
<b>Salinité</b>	Les Sols salins en une concentration élevée en sels solubles. Ils sont classés comme salins quand $EC_e = 4 \text{ ds/m}$ .	Cette définition de la salinité dérive de celle de la conductivité électrique ( $EC_e$ ) cette dernière affecte le rendement de plusieurs plantes. Cependant, beaucoup sont affectés par une $EC_e < 4 \text{ ds m}^{-1}$	Les sels spécifiques inhibent la croissance des pousses et des racines	$EC_e$ est la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée, et reflète la concentration de sels dans un sol saturé. Une conductivité de $4 \text{ ds m}^{-1}$ est équivalente $40 \text{ mM}$ de NaCl.
<b>Sodicité</b>	Les sols sodiques ont une concentration faible de sels solubles, mais un pourcentage élevé de $\text{Na}^+$ échangeable (ESP). Ils sont classés comme sodiques quand l'ESP est $= 15\%$ .	Cette définition de sodicité dérive de l'ESP qui cause la dégradation de la structure des argiles des sols par le déplacement du $\text{Na}^+$ des cations bivalents liées aux charges négatives dans les particules d'argiles.	La mauvaise structure du sol inhibe la croissance de la racine	ESP élevé ; les particules d'argiles sont dispersées. Le drainage du sol devient mauvais. Le sol est inondé en conditions d'humidité et dure en conditions de sécheresse.
<b>Alcalinité</b>	Les sols alcalins sont un type de sols sodiques avec un pH élevé. Ils sont définis avec un ESP = 15% et un pH de 8,5 - 10.	Le pH élevé est causé par les sels des carbonates présents dans les matériaux d'origine.	Le PH élevé affecte l'absorption des éléments nutritifs.	

### II.1.5. Salinisation des eaux

L'eau d'irrigation peut avoir des propriétés qui risquent de modifier le sol et les cultures. Toutes les eaux naturelles contiennent des sels minéraux en solution. C'est la concentration et la proportion de ces sels qui déterminent les possibilités d'utilisation de ces

eaux. Les principaux constituants dissous des eaux d'irrigation sont les cations  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et les anions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  avec d'autres éléments mineurs. La qualité des eaux est donc fonction de la quantité totale des sels dissous et la nature de ces sels (**Rohdes et al., 1992**).

Selon **Williams (1987)**, on peut classer la salinisation des eaux en deux catégories, salinisation naturelle, et la salinisation secondaire : la salinité naturelle est régie par deux principaux facteurs qui sont la géologie et le climat. Le sodium et les chlorures naturellement présents dans les eaux douces proviennent de la météorisation naturelle de la roche et du transport atmosphérique de substances d'origine océanique, quant à la salinisation secondaires elle est principalement due à trois facteurs anthropiques, les pratiques agricoles, particulièrement une irrigation associée à un mauvais system de drainage, sont souvent mises en cause, car en favorisant l'évaporation de l'eau dans les zones arides, elles engendrent la précipitation de cristaux de sel en surface, le dixième grande facteur anthropique est l'invasion marine ; Le phénomène d'invasion marine, qui peut s'étendre sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres est d'un grand risque pour les régions côtières tributaires des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau. Sous certaines conditions, l'eau salée se propage à l'intérieur des terres et contamine les eaux de la nappe située à proximité de la mer. Par conséquent, l'invasion des eaux douces par les eaux salées aura pour effet une dégradation des sols à cause de la salinisation des eaux d'irrigation (**Morsli, 2007**). Une troisième catégorie de facteurs anthropiques de salinisation regroupe des phénomènes qui peuvent être classe comme marginaux à l'échelle de la planète mais peuvent avoir une grande importance au niveau local, il s'agit par exemple de l'utilisation de sels de déneigement sur les routes (**Williams, 1987**).

D'après **Ghassmi et al., (1995)**, la qualité des eaux d'irrigation, elle est déterminée par la salinité ou la concentration totale des solubles, la sodicité ou la concentration relative en sodium par rapport aux autres cations (SAR), la composition anionique de l'eau notamment en bicarbonates, carbonates et en sulfates et la concentration en bore et autre éléments qui peuvent être toxiques pour les plantes. Le tableau 3, montre la classification des eaux salées.

**Tableau3** :La classification des eaux salées (Maillard, 2001).

Classe d'eau	CE(DS/m)	Concentration en sel (mg/l)	Type d'eau
Non salée	<0,7	<500L	L'eau potable et d'irrigation.
Légèrement salée	0,7-2	500-1500	L'eau d'irrigation.
Modérément salée	2-10	1500-7000	L'eau de drainage primaire et de la nappe phréatique
Modérément salée	10-25	7000-15000	L'eau de drainage secondaire et de la nappe phréatique
Très salée	25-45	15000-35000	Nappe phréatique très salée
Extrêmement salée	45	<45.000	L'eau de la mer

## II.2. Stress salin

### II. 2.1. Notion du stress

Le stress peut être défini comme toute condition (ou combinaison de conditions) qui empêche la plante de réaliser pleinement l'expression de son potentiel génétique pour la croissance, le développement et la production (Levitt, 1980). D'autres auteurs comme Grime (1979), précisent que toute contrainte externe qui limite la productivité en dessous de la potentialité génétique de la plante au niveau d'un écosystème précis peut être considérée comme un stress. Enfin selon Jones et Jones (1989), la définition la plus pertinente d'un stress biologique est que c'est une force ou une influence hostile qui tend à empêcher un système normal de fonctionner. Cette définition n'est pas dénuée d'opposants puisque définir ce qui est « normal » varie entre espèces et même entre écotypes, en plus elle implique également que les effets d'un environnement stressant sont automatiquement nuisibles pour la plante

On distingue deux grandes catégories de stress :le stress abiotiques provoqués par un défaut ou un excès de l'environnement physico-chimique comme par exemple la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité...et le stress biotiques imposés par les autres organismes (insectes, herbivores...). Grime(1979)

### II.2.2. Définition du stress salin

Le stress salin est défini comme une brusque augmentation de la concentration en sels qui conduit d'une part, un afflux plus élevée d'ions dans la cellule suite à la chute de la concentration du milieu externe, d'autre part, à une perte d'eau par voie osmotique (Ben Hebireche et Djafour, 2011).Des concentrations en Na Cl supérieure à 50Mm dans les sols sont, en générale, défavorables à la plus part des espèces végétales (en particulier celle que

l'on regroupe sous le nom glycophyte), le Na Cl en lui-même est toxique mais le stress salin s'accompagne souvent d'une baisse importante du potentiel hydrique, il réduit fortement de l'eau pour les plants, on parle alors de milieu « physiologiquement sec » (**Elferiha, 2010**).

### **II.3. Mode d'action de la salinité**

Le phénomène de salinisation agit sous deux formes : sur la nutrition des végétaux, soit par la toxicité directe avec une accumulation des ions dans les tissus, soit par un déséquilibre nutritionnel provoqué par le surplus de certains ions. Les concentrations en sel excessivement fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (**Levigneron et al, 1995**). L'absorption des cations essentiels tels que  $K^+$  et  $Ca^{2+}$  est limitée par l'accumulation des ions de sodium ( $Na^+$ ) dans la plante.  $Na^+$  et  $Ca^{2+}$  font une compétition pour les mêmes sites de fixation. Ce phénomène d'interaction entre ces deux ions a son impact sur le développement des racines de l'orge (**Heyder, Greenway, 1965 cité par Jendoubi, 1997**). L'excès de sels dans le sol se traduit, en général, par des effets néfastes sur les cultures en entravant le développement normal de la plante. En effet, la présence des sels provoque les effets suivants :

- Effet soif : la salinité diminue la disponibilité de l'eau pour la plante en augmentant la pression osmotique de la solution du sol, s'opposant ainsi à l'absorption de l'eau (stress hydrique) (**Rhoades, 1990**).
- Effet faim : dans un sol salin, ont lieu des perturbations du régime nutritionnel de la plante (**Rhoades, 1990**) et ce, suite à une réduction de la solubilité de certains ions qui contrôlent les concentrations des éléments nutritifs du sol (stress nutritif); Selon **Snoussi et Halitim (1998)**, certains sels peuvent affecter la balance nutritionnelle chez les plantes s'ils sont présents en concentration excessive ou en proportion anormale. La présence excessive d'ions sodique, chlorique et borique peut provoquer une augmentation du pH du sol, ce qui a un effet indirect sur l'impossibilité d'absorption des ions ferreux, phosphate, zinc et manganèse indispensables pour la croissance des plantes (**Maillard, 2001**).
- Toxicité : l'excès en une espèce chimique donnée (sodium, chlorures etc..) se manifeste par une absorption déséquilibrée des ions qui pourraient conduire à l'intoxication de la plante. D'après (**Rhoades, 1990**). La complexité du stress salin peut être expliquée par le fait qu'en réalité la plante dans les conditions salines est confrontée à trois contraintes différentes plus ou moins liées entre elles: une contrainte hydrique ; une toxicité causée par le sel et une perturbation de la nutrition.

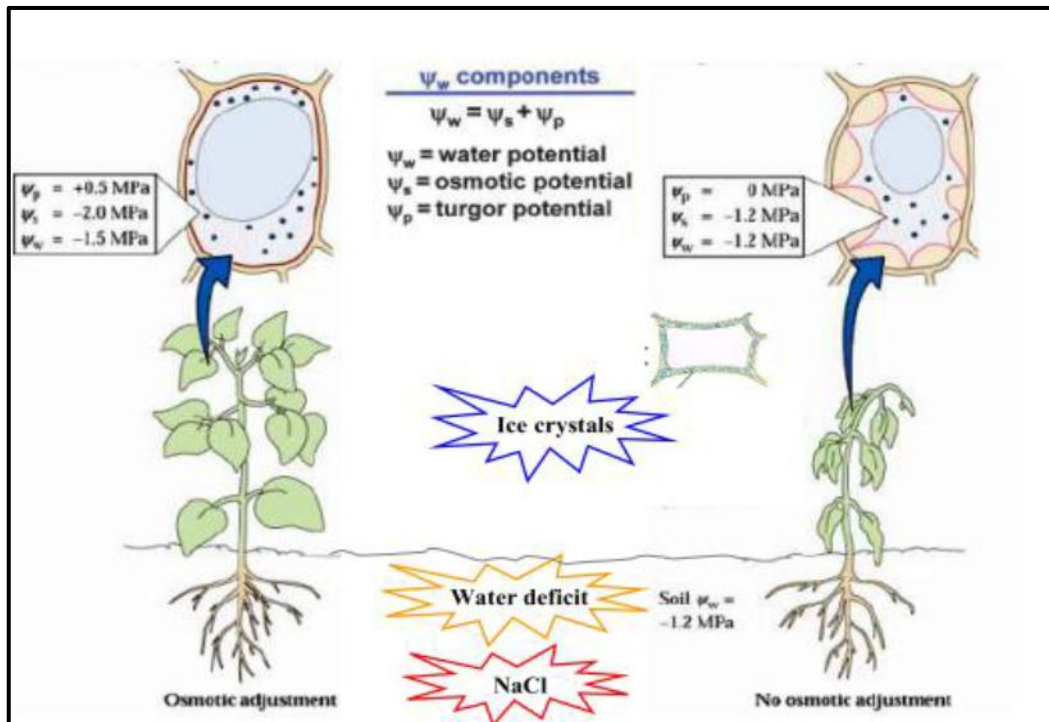


Figure 4 : Stress osmotique provoqué par le gel, la sécheresse ou la salinité (Verslue et al., 2006).

## II.4. Effets de salinité sur les plantes

La salinité constitue un facteur limitant non négligeable pour l'agriculture mondiale (Hillel, 2000). L'effet de la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une réduction de la croissance et le développement (Munns et al., 1983). Cet effet néfaste se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance et la productivité végétale (Ashraf et Harris, 2004).

La diminution de la croissance et de la productivité des plantes en conditions de contrainte saline a été reliée à deux origines possibles: la présence de sels dans le milieu de culture perturbe l'alimentation de la plante en eau et en éléments nutritifs essentiels ainsi que l'accumulation excessive des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  au niveau des tissus de la plante (Munns et al., 1995)

### II.4.1. Effet sur la germination et la levée

La germination est considérée comme une étape critique dans le cycle de développement de la plante. En effet, elle conditionne l'installation de la plantule, son branchement sur le milieu, et probablement sa productivité ultérieure. Le chlorure de sodium

présent dans le sol ou dans l'eau d'irrigation affecte la germination des glycophytes (**Mallek, 2001**).

Le sel diminue la vitesse de la germination et réduit le pouvoir germinatif. Cet effet dépend de la nature de l'espèce, de l'intensité du stress salin et de sa durée d'application. La réduction du pouvoir germinatif est due à l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol, qui ralentit l'imbibition et limite l'absorption de l'eau nécessaire au déclenchement des processus métaboliques impliqués dans la germination. La salinité perturbe également les systèmes enzymatiques impliqués dans les différentes fonctions physiologiques de la graine en germination (**Hajlaoui et al., 2007**).

#### **II.4.2. Effet sur le développement et la croissance**

Les effets de la salinité se manifestent principalement par un retard dans le développement, d'une manière générale la hauteur (**Gillks, 1979**), une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, caractérisé par faible ramification, le faible diamètre des organes, le nombre réduit des nœuds et les réductions du nombre de feuilles et de longueur de la tige et par conséquent l'augmentation du rapport racine/tige. Une baisse des poids de matières fraîche et sèche (**Rush et al, 1981**), ainsi que la grosseur des fruites diminuent d'une façon considérable avec l'augmentation de la salinité (**Gillks, 1979**).

Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient en fonction du type de salinité, de la concentration du sel, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (**Levigneronet al., 1995**).

#### **II.4.3. Effet sur la physiologie**

Un excès de sel a des effets néfastes sur la physiologie de la plante, ces effets se manifestent sur la photosynthèse, essentiellement, par la réduction de l'assimilation du CO<sub>2</sub>, la conductance stomatique, et le ralentissement de l'activité du transport des éléments du photosystème II. La réduction de la photosynthèse par la salinité est l'une des causes majeures de la réduction de la croissance et de la productivité végétale (**Farissi et al, 2014**). Selon **Munns et Tester (2008)**, la réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, qui est à l'origine de la fermeture des stomates.

Le stress salin influence l'état de turgescence des cellules de garde essentiellement par l'intermédiaire d'une phytohormone : l'acide abscissique (**Belin, 2006**). La turgescence cellulaire intervient de manière plus ou moins directe au niveau du chloroplaste : directement par le maintien du volume du chloroplaste, et indirectement, par son effet sur l'ouverture

stomatique, qui contrôle la conductance, et conditionne l'utilisation de l'énergie photochimique (ATP, NADPH) dans les chloroplastes (**Grennan, 2006**).

#### **II.4.4. Effet sur le rendement**

L'effet de la salinisation sur les végétaux est semblable à celui de la sécheresse, à mesure que la concentration des sels dissous augmente, la capacité des racines d'absorber à fois l'eau et l'élément nutritifs diminuent. A des concentrations élevées de sels, la croissance normale des plantes cultivées est limitée et le rendement des cultures est réduit (**Wiebe et al., 2001**).

### **II.5. Effet de la salinité sur l'orge**

L'effet de la salinité sur l'orge se traduit, généralement, par une réduction de la croissance végétative (**Munns et Rawson, 1999**). Les mêmes auteurs sont montrés que tous les paramètres du rendement subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit. Cette salinité a un effet néfaste sur la remobilisation des réserves au cours de la phase de remplissage des grains, ce qui diminue le rendement.

#### **5.1. Effet de la salinité sur la germination et la levée**

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et, en particulier, par la disponibilité de l'eau dans le sol. Selon **Maillard (2001)** et **Abdelly (2006)** rapportent que la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée dont l'effet nocif est de nature osmotique ou bien toxique. Selon **Karmous (2007)**, il agit également sur la germination en ralentissant sa vitesse, ce qui expose plus les semences aux risques. Il a été démontré que la salinité inhibe la germination par son effet osmotique où elle affecte tous les processus de germination suite à la baisse du potentiel hydrique autour des graines, ce qui rend l'eau inaccessible à cette dernière pour la réhydratation et la reprise de la vie active de l'embryon (**Maas et Poss, 1989**).

#### **5.2. Effet de la salinité sur la croissance et le développement**

L'effet de la salinité sur l'orge se traduit, généralement, par une réduction de la croissance végétative (réduction de la hauteur, nombre de tiges et de feuilles) qui est en fonction de la division et l'élongation cellulaire. Elle retarde la croissance des pousses qui sont plus

sensibles aux sels les racines mais elle pousse prématurément la plante vers la maturité (Munns et Rawson, 1999).

### **5. 3. Effet de la salinité sur le rendement**

Une concentration élevée en sel dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes (Sminroff, 1995). Tous les paramètres du rendement subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit. Cette salinité a un effet néfaste sur la remobilisation des réserves au cours de la phase de remplissage des grains, ce qui diminue le rendement (Munns et Rawson, 1999).

### **5. 4. Effet de la salinité sur les fonctions physiologiques**

Les plantes traitées par le sel sont confrontées au problème d'accumulation d'ions toxiques dans leurs tissus, ce qui a pour effet de limiter la croissance des plantes (Munns et al., 1995). Chez les plantes sensibles, la première réponse à l'excès de sel est l'inhibition de la croissance foliaire, une réponse aux composantes osmotiques du stress salin à travers l'ABA qui contrôle les stomates, l'assimilation du carbone photosynthétique se retrouve réduite à cause de l'effet du sel sur les composantes stomatiques et non stomatiques reliées aux cycles du CO<sub>2</sub> (Munns et Termaat, 1986).

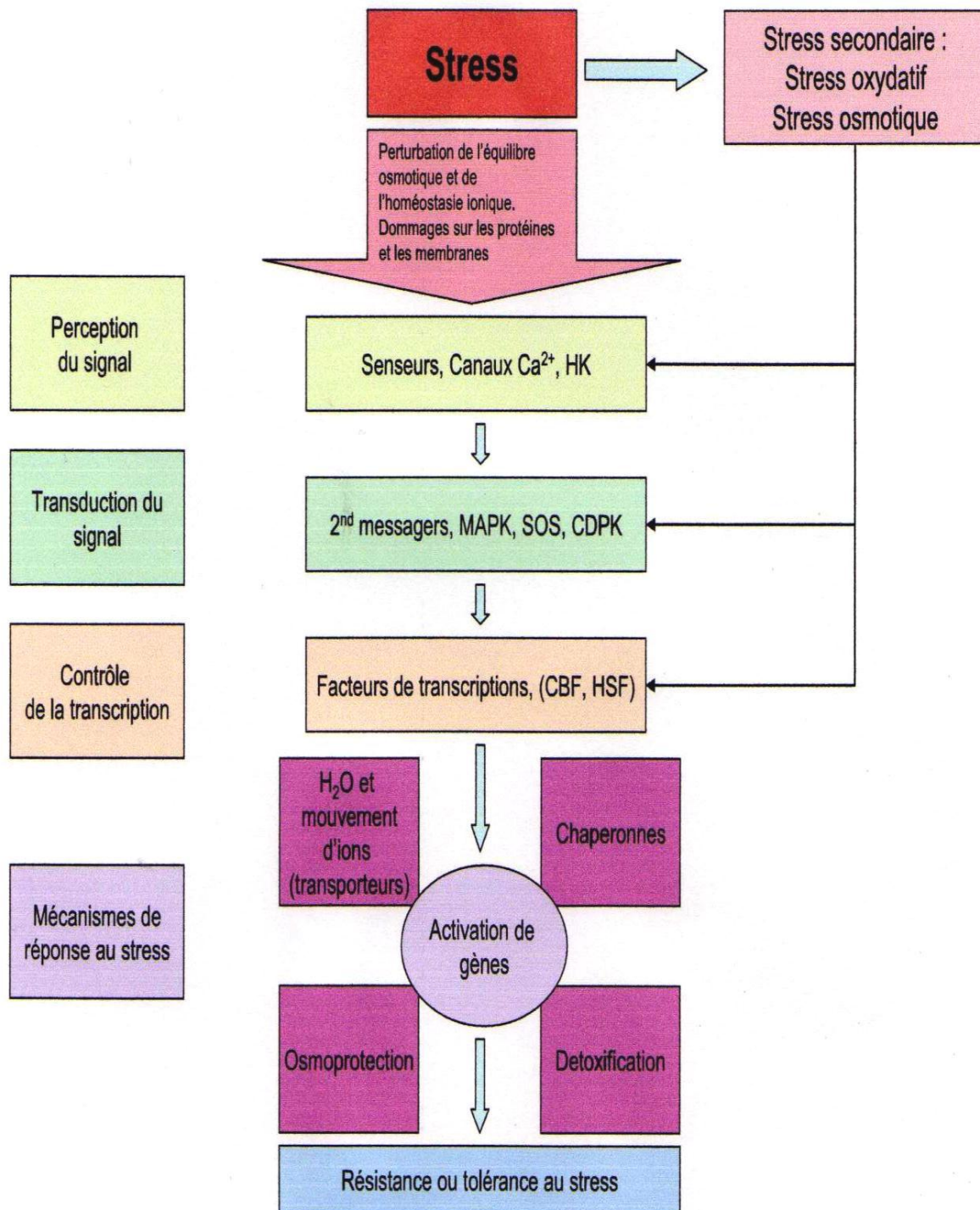
La salinité diminue l'assimilation du CO<sub>2</sub> par des réductions de surface des feuilles (Munns et al., 2000), conductibilité des stomates (Parida et al., 2003), conductibilité mésophyllienne, efficacité des enzymes photosynthétiques (Reddy et al., 1992) et le bon fonctionnement de photosystèmes (Rontein et al., 2002). Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin. Les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber pendant une période prolongée de stress salin (Acevedo et al., 2000).

## CHAPITRE03 : Mécanismes d'adaptation et tolérance des plantes au stress salin

### III.1. Principe général d'adaptation et de résistance des plantes à la salinité

Généralement, sous les conditions salines, une voie de transduction d'un signal de stress commence par la perception de ce signal au niveau de la membrane de la plante, suivie par la production de seconds messagers et des facteurs de transcription. Ces facteurs de transcription contrôlent l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress incluant des changements morphologiques, biochimiques, et physiologiques (Levitt, 1980).

La résistance à la salinité est décrite comme le niveau auquel une croissance et un métabolisme normaux peuvent être maintenus dans des conditions non optimales liées à un environnement salé (Yeo et flowers, 1983). Il existe des stratégies d'adaptation communes au stress salin qui font appel à des modifications plutôt d'ordre physique : réduction de l'hydratation cellulaire, réduction du volume cellulaire modification du module d'élasticité des parois cellulaires et augmentation de la conductivité hydraulique (Yeo, 1983). Levitt (1980), utilise le terme « résistance à la salinité » dans un sens large qui comprend : *la tolérance*, quand les plantes répondent à la salinité en compartiment les sels dans leurs vacuoles, ou en excréant ces sels par des cellules spéciales (glandes salines) et *l'évitement*, quand les plantes évitent le stress salin en maintenant la concentration en sels de leurs cellules inchangées par dilution ou exclusion du sel.



**Figure5** : Schéma global de la signalisation des stress abiotiques et leurs réponses au niveau cellulaire (Wan et al., 2003).

La caractérisation physiologique de la tolérance des végétaux à la salinité résulte de processus qui permettent au végétal d'absorber l'eau et les sels minéraux à partir de substrats à

faibles potentiels hydriques, mais aussi de vivre en acceptant la présence importante du sodium dans ses tissus; les halophytes, qui accumulent le plus de sodium (**Guerrier, 1984**) se distinguent ainsi par une forte capacité d'élaboration de composés organiques, (**Guerrier, 1984**). Ces deux facteurs permettant le maintien d'une haute pression osmotique interne qui favorise les échanges d'eau entre les compartiments externe et cellulaire (**Guerrier, 1984**), toutes les plantes ne réagissent pas de même manière face au stress salin, suivant leur production de biomasse en présence de sel, quatre grandes tendances ont été discernées:

**-Halophyte vraies:** dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sel. Ces plantes (*Atriplex sp.*, *Salicornia sp.*, *Sueda sp.* ...) présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par la salinité du sol.

**-Halophytes facultatives:** présentent une légère augmentation de biomasse à des teneurs faibles en sels: *Plantago maritima*, *Aster tripolium*....

**- Non halophytes résistants:** supportent de faibles concentrations en sels : *Hordeum sp.*...

**- Glycophytes ou halophobes:** sensibles à la présence de sels: *Phaseolus vulgaris*....

### **III.3. Tolérance des céréales à la salinité**

D'après **Munns et al. (2006)**, la tolérance des céréales à la salinité dépend de la variabilité génétique telle que certaines espèces qui résistent à ce type de stress abiotique que d'autres, notamment l'effet toxique des sels est moins prononcé chez le blé tendre que chez le blé dur. Ce caractère lui est conféré grâce à la présence du *Kna1*, un gène responsable à l'exclusion du sodium. En outre, l'orge, arrive à croître normalement dans des conditions considérées comme limitantes. En effet, en plus de l'exclusion de sodium, la plante d'orge se sert d'un autre mécanisme de tolérance à la salinité qui se manifeste par l'emprisonnement des sels dans un compartiment bien spécifique dans la feuille, ceci non seulement lui épargne leurs effets toxiques mais aussi contrebalance la pression osmotique du sol (**Munns et Tester, 2008**).

### **III.4. Mécanismes de tolérance des plantes à la salinité**

#### **III.4.1. Régulation de la croissance**

Selon **Hamza(1982)**. Les plantes manifestent des adaptations diverses en présence d'un excès de sel. Un allongement faible des organes. Un raccourcissement des entrenœuds et une réduction de la surface foliaire, les différentes parties de la plante ne réagissent pas de la même façon en milieu salin. Les racines commencent à diminuer (**Levigneron et al., 1995**).

D'après **Zhu(2001)**, la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter les effets du stress avant qu'un déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles. Pour illustrer cette tendance, dans la nature, la croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce ou variété (**Zhu, 2001**).

Le milieu salin présente une faible abondance de l'eau, pour s'adapter à cette contrainte, la plante doit maintenir une croissance racinaire adéquate. Selon **Wu et al. (1994)** cette élongation cellulaire est due à l'implication de l'enzyme xyloglucan endo-transglycosylase impliquée dans la construction du cytosquelette, **Ober et Sharp (1994)** propose l'accumulation de la proline comme activateur de ce mécanisme, dans les deux c'est l'acide Abscisique (ABA) induite par le stress salin qui joue le rôle de régulateur (**Jia et al.,2002**). Dans les conditions optimales chez le maïs par exemple, l'ABA se retrouve inhibée ce qui empêche l'élongation racinaire, un traitement des racines à base d'inhibiteur d'éthylène peut restaurer cette activité (**Spollen et al., 2000**).

#### **III.4.2. Le contrôle membranaire**

L'adaptation au stress salin se met en place également au niveau des membranes cellulaires (membrane plasmique, tonoplaste). La modification qualitative et quantitative des aquaporines (protéines trans-membranaires) est un processus capable de modifier la conductivité hydrique de la plante et de favoriser de restreindre les mouvements d'eau (**Yeo, 1998**).

En termes de transport ionique, la stratégie de résistance à la salinité est qualitative et quantitative, la sélectivité des ions à l'entrée constitue la composante qualitative qui se définit à partir des différents transporteurs membranaires récents (antiports  $\text{Na}^+/\text{H}^+$ ). Dans la diffusion facilitée comme dans le transport actif, les protéines membranaires peuvent être très spécifiques de certains solutés, néanmoins, plusieurs solutés peuvent entrer en compétition pour une même protéine de transport ( $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ). D'un point de vue quantitative, la perméabilité membranaire au  $\text{Na}^+$  ainsi que l'activité, la quantité, la sensibilité des antiports  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  membranaire évoluent pour s'adapter à un stress sodique à long terme (**Niu et al.,1995**).

### **III.4.3. Exclusion des ions**

Selon **Sentenac et Berthomieu (2003)**, la plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles, une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne de cellules de racines, cependant, cette barrière peut être interrompue, en particulier lors de l'émergence des ramifications de la racine. D'autres mécanismes limitent le passage de sel des racines vers les feuilles mais les gènes qui les gouvernent sont encore largement inconnus.

Il est aussi indiqué que la capacité d'exclusion de (Na<sup>+</sup>) et / ou (Cl<sup>-</sup>) des tiges est un mécanisme de tolérance au sel. Le maintien d'une faible concentration de (Na<sup>+</sup>) dans les feuilles peut être dû à un mécanisme d'exclusion qui provoque une accumulation de (Na<sup>+</sup>) dans les racines, évitant une translocation excessive aux tiges; mais, il peut être aussi lié à une mobilité élevée de cet élément dans le phloème. Cependant, certaines mesures physiologiques concordent pour suggérer l'existence d'une expulsion active du sodium cytoplasmique vers l'apoplasme ou vers la vacuole, protégeant ainsi les équipements enzymatiques du cytoplasme dans les organes aériens (**Greenway et Munns, 1980**).

### **III.4.4. Compartimentation**

Un organisme peut difficilement exclure totalement le Na<sup>+</sup> de ses tissus. Chez les plantes, des stratégies de tolérance à la salinité les plus connues est la compartimentation des ions (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>) en excès dans les tissus, cette redistribution contrôlée se fait essentiellement dans les vacuoles (**Niu et al, 1995**) et éventuellement à l'échelle de la plante entière, dans les organes les plus vieux ou les moins sensibles (**Cheeseman, 1988 ; Munns, 1993**). Pour être contrôlé, le déplacement des ions au travers des membranes implique un transport actif, consommateur d'énergie, qui utilise différents transporteurs (en densité variable) à la surface des membranes cellulaires (**Orcutt et Nelen, 2000 ; Tyrmanet al., Skerret, 1999**). Une fois vacuolisé, le Na<sup>+</sup> en excès contribue à l'ajustement osmotique sans altérer les processus métabolique (**Levitt, 1980 ; Yeo, 1983**).

### **III.4.5. Ajustement osmotique**

Selon **El Midaoui et al.,(1999)** l'un des principaux caractères physiologiques de tolérance conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs qui peuvent être des ions tels que les K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> ou des composés organiques tels les sucres solubles (fructose, glucose, tréhalose, raffinose, fructanes) et certains amino-acides (proline, glycine bêtaïne, β-alaninebêtaïne,

prolinebétaine) conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence (Tahri *et al.*, 1998).

L'accumulation de ces composés a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline, elle varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le degré de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (Acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes. Ce phénomène permet le maintien de nombreuses fonctions physiologique (photosynthèse, transpiration, croissance...) et peut intervenir à tous les stades du développement du végétal, il permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes, la proline semblant jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosol vacuole et de régulation du pH (Hassani, 2008).

Les plantes produisent aussi des espèces d'oxygène actif nommés ROS (radicaux superoxide (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), et radicaux hydroxyl (OH)) en réponse à un stress salin (Hernandez *et al.* 2001). Ces ROS causent d'importants dommages dans des lipides membranaires, des protéines et acides nucléiques. La détoxification des ROS constitue un élément clé de défense des plantes contre les stress abiotiques dont le stress salin. Les enzymes responsables de cette détoxification nommées antioxydants incluent le superoxyde dismutase (SOD), la catalase, et des enzymes du cycle ascorbate-glutathion (Sairam *et Tyagi*, 2004).

**Tableau 4:** Composés osmoprotecteurs accumulés chez les plantes en conditions de stress salin et hydrique (Sairam *et Tyagi*, 2004).

Carbohydrates	Composés azotés	Acides organiques
Sucrose	Protéines	Oxalate
Sorbitol	Betaine	Malate
Mannitol	Glutamate	
Glycerol	Aspartate	
Arabinitol	Glycine	
Pinitol	Choline	
Autrepolyols	Putrescine	

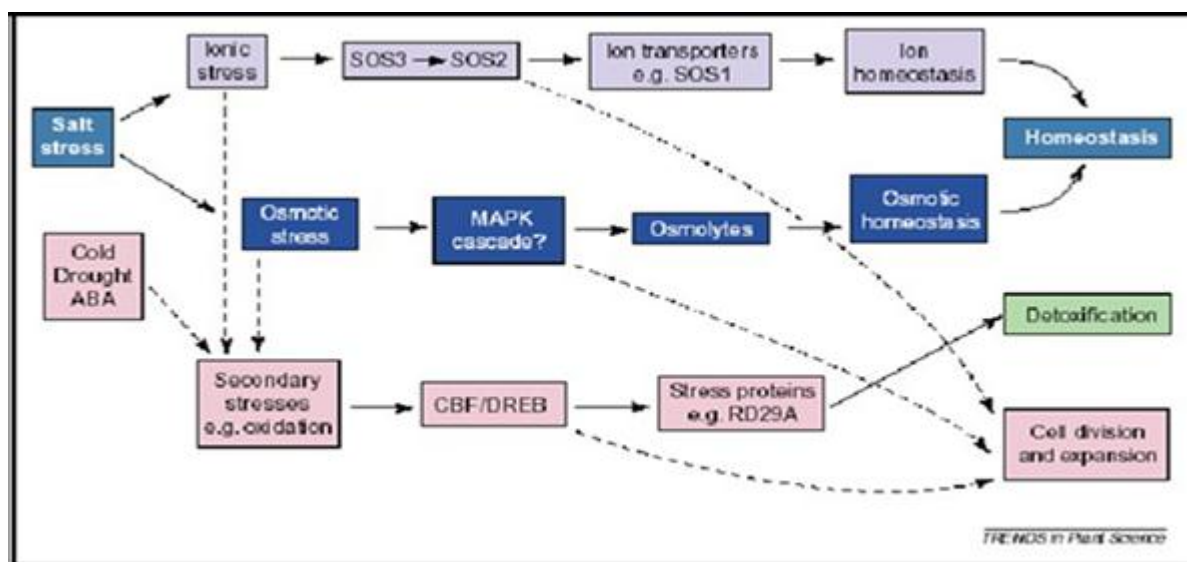
### III.4. Aspects de la tolérance au stress

Trois aspects de la tolérance au sel sont retenus dans l'étude du stress salin: l'homéostasie, la détoxification et l'influence de la croissance. Ces trois voies de réaction des plantes au stress salin se composent d'une cascade d'événements physiologiques et biochimiques (voir figure n° 6) (Roeder, 2006).

L'**homéostasie** est garantie par différents processus, en cas de stress salin, toute une série de gènes sont particulièrement activés, codant pour des protéines responsables du maintien de l'homéostasie. Ce sont les gènes *SOS* (Salt Overly Sensative). La protéine SOS3 interagit avec SOS20 qui est une sérine/ thréonine protéine kinase (Roeder, 2006).

Les mécanismes de **détoxication** peuvent être divisés en 2 catégories selon qu'ils impliquent des enzymes de façon directe ou indirecte. La détoxification indirecte met en jeu des molécules et peptides permettant à la cellule de maintenir son équilibre oxydo-réducteur, principalement l'ascorbate et le glutathion, mais aussi le tocophérol, les flavonoïdes, les alcaloïdes et les caroténoïdes. Plusieurs enzymes sont impliquées dans la détoxification directe, ce sont principalement le superoxyde dismutases (SOD), les ascorbate peroxydases (APX), les glutathion peroxydases (GPX) et les catalases (CAT). Les SOD constituent la première forme de défense en catalysant la génération d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à partir d'O<sup>-2</sup>. Les CAT, GPX, et APX agissent ensuite en éliminant le peroxyde d'hydrogène (Roeder, 2006).

Le troisième aspect de la tolérance c'est le **contrôle dans la croissance de la plante**. Il peut se baser sur des études comparatives de l'état de la plante à différents jours de croissance dans des milieux riches en sel. Des études menées dans ce but prouvent que *T. halophila* a une résistance accrue face au sel, supportant une accumulation de sel dans ses feuilles sans dommages physiologiques (M'rah et al., 2005).



**Figure 6:** les trois aspects de la tolérance au sel dans les végétaux (Homéostasie, détoxication et l'influence de la croissance) et les liens qui les interconnectent (Zhu, 2001).

## **MATERIEL ET METHODES**

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

Notre travail a pour objectif d'évaluer le comportement de 05 variétés de d'orge (Rihane, Fouara, Barberousse, Tichedrette et Saida) vis-à-vis du stress salin, durant des stades précoce de son développement, au stade germination des graines et au stade plantule des différents génotypes utilisés sous des niveaux progressifs de stress salin.

Les différentes doses de Na Cl ajoutées à l'eau distillée déterminent le seuil de tolérances pour chaque variété dans nos conditions expérimentales et les modifications physiologiques, biochimiques et morphologique à chaque seuil de tolérance pour sélectionner les variétés les plus résistantes.

### **2. Conduite de l'expérimentation**

#### **2.1. Présentation du site d'étude**

##### **2.1.1. Localisation**

Nos essais ont été réalisés au niveau du département d'agronomie située au pôle universitaire Mohamed Boudiaf (wilaya de M'sila). Cette dernière se trouve d'une latitude de 35°40' N et d'une longitude de 04 30'E sur une altitude d'environ 500 m (**annuaire statistique de la wilaya de M'sila, 2008**).

La Wilaya de M'sila, dans ses limites actuelles, occupe une position privilégiée dans la partie centrale de l'Algérie du nord. Dans son ensemble, elle fait partie de la région des Hauts Plateaux du Centre et s'étend sur une superficie de 18.175 km<sup>2</sup>.

Elle est limitée: Au Nord Est: les wilayas de Bordj Bou-Argeridj et Sétif, Au Nord-Ouest: la wilaya de Médéa et Bouira, à l'est : la wilaya de Batna A l'ouest : la wilaya de Djelfa, Au Sud Est : la wilaya de Biskra (**annuaire statistique de la wilaya de M'sila, 2014**).

##### **2.1.2. Caractéristiques climatiques**

Le climat de la Wilaya est de type continental soumis en partie aux influences sahariennes, L'été y est sec et très chaud, alors que l'hiver y est très froid (**annuaire statistique de la wilaya de M'sila, 2014**).

Le tableau ci-dessous présente quelques valeurs moyennes de quelques paramètres climatiques pour la période de l'expérimentation selon la station météorologique de M'sila.

**Tableau n° 5:** Valeurs moyennes du température pour la période: Février, Mars, Avril, Mai 2017.

Mois	Température (C°)		
	Moye	Min	max
Février	11.64	6.31	17.78
Mars	14.87	7.67	22.44
Avril	18.52	11.60	25.83
Mai	25.60	18.12	32.92

Source : station météorologique de M'sila(2017)

### 2.1.3. Caractéristiques édaphiques

Le comportement des plantes est fonction, outre le climat, de la nature du sol dans lequel elles se développent.

Les sols de M'sila en majorité sableux, présentent des caractères salins, calcaires ou gypseux ou soumis à l'effet de la nappe phréatique ou à l'érosion éolienne. D'une manière générale, à cause de leur texture et leur faible teneur en matière organique, le niveau de fertilité est faible (faibles capacités d'échange ionique et de rétention en eau) (Boyadjev, 1975), Les caractéristiques de sol qu'il utilise dans notre expérience est dans l'annexe 17.

### 2.2. Matériel végétal

Notre matériel végétal est constitué de 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*): Fouara, Tichedrette, Rihane, Barberousse, Saida (tableau n° 6). Les semences ont été fournies par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) d'Alger, Algérie

**Tableau 6:** Quelques caractéristiques .des variétés étudiées

Variété	Caractéristiques
Saida 183 (V2)	Zone d'adaptation plaines intérieures et hautes-plateaux, alternatifité: automne, cycle végétatif semi-précoce, tallage moyen, résistance au froid et à la sécheresse et sensible à la verse, poids de mille grains élevé, sensible aux maladies. Origine locale
Rihane 03 (V1)	Origine ICARDA (Syrie), zone d'adaptation plaines intérieures, alternative: hiver, cycle végétative précoce, tallage fort, tolérante au froid et à la sécheresse et résistante à la verse, poids de mille grains moyen résistante aux maladies (piétin échaudage, piétin verse, oïdium) tolérante aux (Helinthosporiose, Rouillebrune, Rhyncosporiose)
El fouara (V4)	Origine ICARDA (Syrie), zone d'adaptation hautes-plateaux, alternatives hiver, cycle végétative : tardive, tallage fort, tolérante au froid et à la sécheresse et résistante à la verse, poids de mille grains élevé, résistante aux maladies (Helinthosporiose, Charbon) tolérante aux (Rhyncosporiose).
Tichedrette (V5)	Origine station d'amélioration des plantes de grandes cultures en 1931, zone d'adaptation plaines intérieures et hautes-plateaux, alternatifité automne, cycle végétative : tardive, tallage moyen, résistante au froid et à la sécheresse et moyennement résistante à la verse, poids de mille grains est moyen, moyennement résistante au (Rhyncosporiose) et sensible à Helinthosporiose.
Barberousse (V3)	A paille moyenne, précoce, tallage moyen, bonne productivité, tolérante à la verse, à la sécheresse et au froid.

Source: (ITGC, 2005).

## **2.3. Déroulement de l'expérimentation**

Notre travail a été constitué de deux parties : la première partie est réservée à l'essai de germination, et la seconde partie est consacrée à l'étude de la croissance.

### **2.3.1. Test de germination**

Nous avons entrepris cet essai dans le but de déterminer l'influence de la salinité, différentes concentrations de chlorure de sodium (NaCl) sur le taux, la vitesse et la durée de germination, la longueur de coléoptile et de la radicule.

#### **2.3.1.1. Mise en culture**

Le tri des graines a été effectué par observation visuelle pour s'assurer de l'absence des dommages, tels que les graines vidées.

Nous avons ensuite appliqué aux graines des 05 variétés une désinfection, consistant à trempage des graines dans de l'eau de javel à 13° pendant 15 minutes, puis un rinçage à l'eau distillé trois fois pour éliminer toutes les traces de chlorures.

Les graines sont mises à germer, ensuite, dans des boites de Pétri, tapissées de papier filtre imbibé d'eau distillée et recouvertes ainsi du papier filtre imbibé d'eau distillée à raison de 10 graines/boite de Pétri, les boîtes ont été placées à l'obscurité dans un incubateur où la température était fixée à 22°C. L'irrigation se faisait chaque deux jour par de l'eau distillée (témoin) et les solutions de différente concentration de NaCl (75, 150 et 250 mM).

Les pourcentages de germination ont été enregistrés quotidiennement pendant une période de 15 jours. Les graines non germées avec les fortes concentrations salines sont récupérées et remises à germer après 5 jours dans d'autres boites de pétri imbibées avec de l'eau distillé puis calculer leur pourcentage de germination après 5 jours (Annexe 18)

#### **Le dispositif expérimental**

Le dispositif expérimental utilisé est un bloc aléatoire complet avec 3 répétitions, deux facteurs étudiés : facteur variété (cinq variétés d'orge : Fouara, Tichedrette, Rihane, Barberousse et Saida), et le facteur concentration du sel ( quatre traitements salins soit 0, 75, 150, 250 mM de NaCl : 0 mM, 75 mM, 150 mM et 250mM). 03 boites de Pétri à raison de 10 graines/boite pour chaque traitement

#### **2.3.1.2. Paramètre étudiés**

##### **a. Taux de germination**

Exprimé par le rapport entre le nombre de gains germés au dernier jour sur le nombre total de grains.  $G\% = 100 (XT/N)$

- XT est le nombre total de grains germées et N le nombre total des graines mises à germer.

##### **b. Vitesse de germination**

Elle permet d'exprimer l'énergie de germination responsable de l'épuisement des réserves de la graine. Exprimé par le rapport entre le nombre des graines germées chaque jours et le nombre des jours de l'essai.

$$IG = 1*(N1) + 1/2*(N2-N1) + 1/3*(N3-N2) + \dots + 1/n*(Nn-Nn-1)$$

- IG : le nombre des graines germées pendant les jours de l'essai.
- n : le nombre des jours de l'essai (1, 2, 3.....n-1, n).

**c. Longueur du coléoptile**

La longueur de coléoptile est mesurée à partir de la graine jusqu'à la sortie de la première feuille, la mesure de cette longueur est réalisée avec une règle graduée.

**d. Longueur de la radicule**

La longueur maximale des racines est la longueur de la racine la plus longue, la mesure de cette longueur est réalisée avec une règle graduée.

**2.3.2. Culture en pots**

**2.3.2.1. Dispositif expérimental**

Le dispositif expérimental utilisé est un bloc aléatoire complet avec 3répition, deux facteurs étudiés : facteur variétés(05 lignées) et le facteur concentration en sel (0, 75, 150, 250 mM de NaCl), l'intervalle entre deux blocs est 0,5m, l'espaces entre deux pot est de 0,2m. **Tableau 7** : Schéma du dispositif experimentation (T0 : 0mM, T1 : 75 mM, T2 : 150 mM, T 3 : 250mM)

Bloc 01	Bloc 02	Bloc 03
V2T3	V1T0	V1T3
V1T0	V3T0	V4T3
V2T2	V1T3	V2T1
V1T1	V5T3	V3T1
V3T0	V3T1	V5T0
V4T3	V2T0	V2T0
V1T3	V3T2	V1T1
V3T3	V4T2	V4T1
V1T2	V1T1	V3T0
V4T2	V5T2	V5T2
V4T1	V4T0	V2T3
V5T3	V4T1	V5T1
V3T2	V2T1	V3T2
V5T0	V2T3	V1T0
V2T1	V5T1	V5T3
V4T0	V2T2	V1T2
V2T0	V3T3	V3T3
V5T2	V5T0	V4T2
V3T1	V4T3	V2T2
V5T1	V1T2	V4T0

**2.3.2.2. Itinéraire technique**

**a. Mise en culture**

Avant la mise en culture, on a déterminé la conductivité électrique (CE) du sol utilisé qui nous a permis de nous assurer que notre sol n'est pas salé (CE= 555 MS/cm).

Le semis s'est effectuée le 19 mars 2017 dans des pots (60 pots) contenant chacun 1 Kg de substrat mesurant à 20 cm de long et 17 cm de diamètre. Le substrat utilisé été composé du sol simple issu de la station d'étude.

**b. Irrigation**

Les plantes ont été irriguées 2 fois par semaines avec l'eau potable non salée jusqu'à le stade de début de floraison.

**c. Désherbage**

Un désherbage manuel est effectué à chaque repousse de mauvaises herbes.

**d. Application de la salinité**

Trois concentrations salines, en plus du témoin, ont été utilisées pour l'application de la salinité aux plantes. 4,4 g de Na Cl était dissout dans 1L d'eau distillée pour avoir une concentration de 75 mM, 8,8g pour avoir une concentration de 150 mM et 14,6g Pour avoir une concentration de 250 mM, L'eau distillée est utilisée seule comme témoin (0 mM).

**2.4. Les paramètres de mesures**

**2.4.1. Paramètres physiologiques**

**a. Teneur relative en eau (TRE)**

La teneur relative en eau de la feuille a été déterminée par la méthode décrite par **Barrs, (1968)**. Selon cette méthode, les feuilles coupées à la base sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF), elles sont ensuite introduites dans des tubes à essai contenant de l'eau distillée et placée à une température de 4°C pendant 24 heures à l'abri de la lumière. Les feuilles sont retirées, délicatement essuyées par un papier buvard et pesées à nouveau, c'est le poids en pleine turgescence (Ppt), le poids sec des feuilles (Ps) est déterminé par passage dans l'étuve à une température de 80°C pendant 48 heures. La teneur relative en eau est déterminée par la formule suivante:

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

**b. Taux de déperdition de l'eau par la feuille excisée**

Les feuilles sont prélevées à leur base est trempées par leur partie sectionnées dans des tubes à essai contenant de l'eau distillée. L'ensemble est placé à l'obscurité et à une température de 4°C pendant 24 heures. Les feuilles sont ensuite retirées, l'eau de surface est absorbée soigneusement par du papier buvard, la partie sectionnée est trempée dans de la graisse de silicone (**Horne et Kahn, 2000**) afin d'empêcher toute perte d'eau à travers les nervures sectionnées. La feuille est ensuite pesée, c'est le poids initial (Pi) obtenu à la pleine turgescence. Les feuilles sont maintenues dressées aux conditions du laboratoire (22°C). Des pesées à différents temps, 60 et 120 mn sont pratiquées.

La première pesée après une heure  $Pt_{60}$  permet d'estimer le taux de la transpiration somatique et la deuxième pesée après deux heures  $Pt_{120}$ , c'est afin d'apprécier le taux de la transpiration cuticulaire, Enfin la surface foliaire (Sf) est déterminée par le planimètre. La perte d'eau est évaluée par l'équation :

$$RWL_x (mg/cm^2/mn) = (Pi - Pt_x) / Sf \times T$$

T : Temps.

### *c. Intégrité membranaire*

L'intégrité des membranes a été évaluée selon la méthode **Campos et al., (2003)** afin de vérifier la fluidité transmembranaire. Une pièce de feuille de 1cm<sup>2</sup> a été prélevée et placée dans un tube à essai contenant 10 ml de l'eau dé-ionisée puis a été maintenue dans un bain marie sous une température de 30 °C pendant 3 heures. La conductivité électrique C<sub>1</sub> a été mesurée après refroidissement. Puis, le tube a été placé dans le bain marie à l'ébullition pendant 2 minutes. Après refroidissement, la seconde conductivité électrique C<sub>2</sub> a été déterminée.

$$IM = 1 - (C1/C2)$$

### **2.4.1. Paramètres biochimiques**

Les paramètres biochimiques consistent à mesurer les quantités des constituants des organes biologiques en général sucres solubles ; protéines totales ; acides aminées ; proline ; lipides ...etc.

#### *a. Teneur en chlorophylle*

La méthode utilisée est celle de **Lichtenthaler et Welburn (1983)** modifiée par **Porra (2002)**, elle consiste à broyer une portion 100 mg de feuille dans un mortier en porcelaine dans 8ml d'acétone dilué à 80% .On filtre le broyat dans un tube à essai en utilisant un papier

Watman n° 22. Ensuite, on complète le volume du tube à 10 ml en ajoutant de l'acétone dilué. Les absorbances ont été lues au spectrophotomètre aux longueurs d'onde 645 nm et 663 nm. Les absorbances ont été converties selon les auteurs afin de quantifier la teneur en chlorophylle a, chlorophylle b et chlorophylle totale en  $\text{mg.g}^{-1}\text{MF}$ , en utilisant les formules suivantes :

$$\text{Chl a} = (x * 663 \text{ nm}) - (x * 645 \text{ nm})$$

$$\text{Chl b} = (x * 645 \text{ nm}) - (x * 663 \text{ nm})$$

$$\text{Chl t} = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

#### ***b. Teneur en sucres solubles***

La méthode utilisée pour le dosage des sucres solubles est celle de **Schiels et Burnett (1960)**, qui utilise l'anthrone en milieu sulfurique. Le principe de cette méthode repose la condensation des produits de dégradation des sucres neutres. L'acide sulfurique concentré transforme à chaud les glucides en dérivés sulfuriques: les hexoses produisent des dérivés qui donnent avec l'anthrone une coloration verte présentant un maximum d'absorption à 585 nm .La teneur en sucres solubles est exprimé en  $\mu\text{g/g}$  de matière fraîche (MF)(annexe 16).

#### **2.4.3. Paramètres morphologiques**

##### ***a. Longueur de la partie aérienne***

Ce paramètre a été déterminé en utilisant un ruban mètre gradué. Les mesures ont portés sur toute la longueur de la tige, du ras du sol à son extrémité supérieure.

##### ***b. Surface foliaire***

La mesure de la surface foliaire s'est effectuée à la fin de l'expérimentation à l'aide d'un planimètre.

##### ***c. Biomasse aérienne et racinaire (fraiche et sèche)***

La biomasse aérienne et racinaire, que soit fraîches ou sèches, était déterminée en utilisant une balance de précision. Le poids frais a été directement déterminé après la récupération de l'organe. Le pois secs a été obtenu après le passage des organes 48h en étuve à 80°C.

### **3. Analyse statistique**

L'analyse de la variance ainsi que le test de Tukey (classification en groupes homogènes) au seuil de 5% sont utilisés pour traiter les résultats obtenus à l'aide du logiciel SPSS version 20.0

## RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### 1. Test de germination

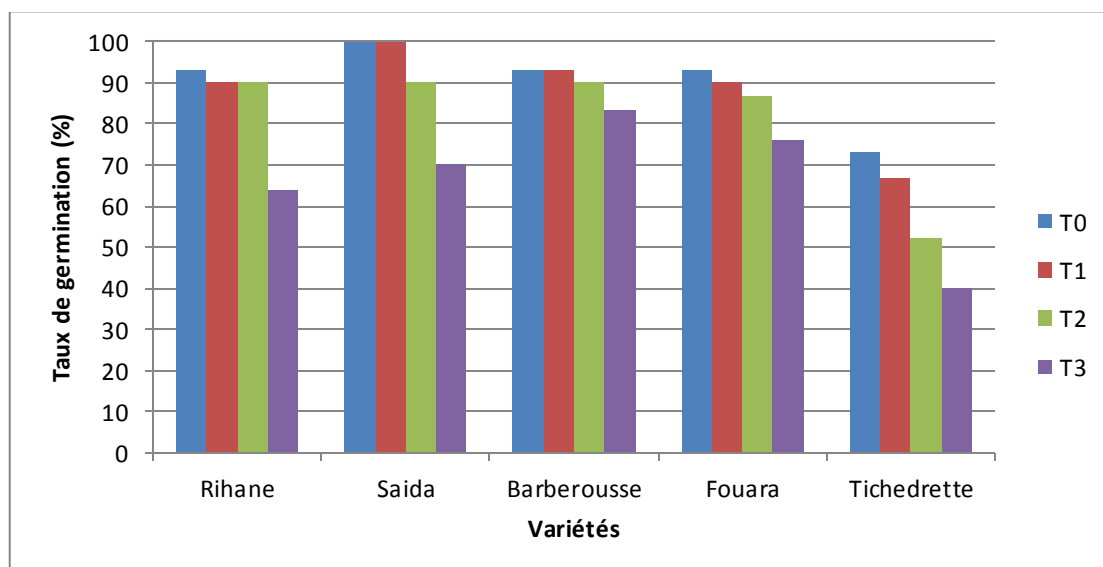
#### 1.1. Taux de germination

La germination des graines d'*Hordeum vulgare* demeure une étape très importante pour la mise en place du protocole expérimentale d'étude du comportement des différentes variétés de cette espèce vis-à-vis du stress salin. L'étude de la germination d'*Hordeum vulgare*, nous a permis de mettre en évidence l'influence de la salinité sur le taux de germination.

D'après les résultats obtenus (**figure 07**), on remarque qu'en absence de traitement salin, le taux de germination varie très peu chez toutes les variétés étudiées, l'apport de NaCl dans le l'eau d'irrigation entraîne une baisse significative du taux de germination chez toutes les variétés testées, donc, les témoins sont les premiers à germer chez les 05 variétés en question par rapport aux graines stressées, et plus la dose saline augmente, plus le taux diminue jusqu'à la dose critique de 250mM.

Les résultats obtenus après l'analyse de la variance du taux de germination révèlent, un effet très hautement significatif entre les différentes variétés, le même effet est constaté entre les différentes concentrations salines, pour l'interaction variété x traitement, la même analyse n'a révélé une différence significative (**Annexe 1**).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$  réalisé sur les taux moyens de germination indique, pour le facteur variété, deux groupes homogènes (**A** : V3, V2, V4,V1 ; **B** : V5), le même test révèle, pour le facteur concentration, deux groupes homogènes (**a** : T0, T1, T2 ; **b** : T3).



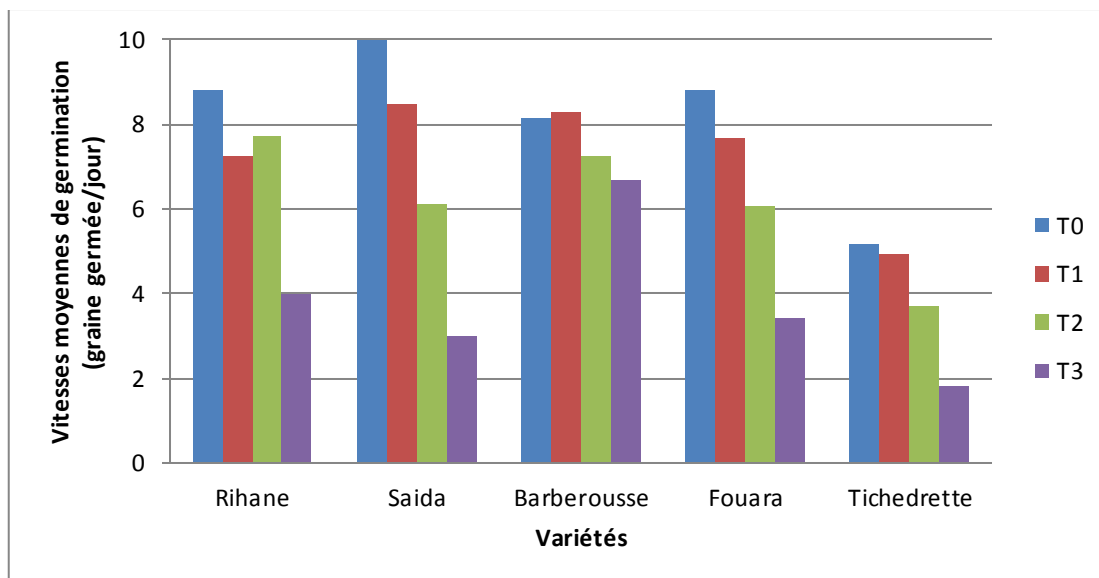
**Figure 7:** Variation des taux moyens de germination chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

## 1.2. Vitesse de germination

La **figure n°8** montre que les vitesses moyennes de germination sont réduites à chaque fois que les concentrations salines sont augmentées. La vitesse la plus élevée a été enregistrée chez la variété Saïda avec 10 graines germées/ jour, alors que la plus faible vitesse a été notée chez variété Tichedrette avec 1.83 graine germée par jours.

L'analyse de la variance effectuée sur ce paramètre, révèle, un effet très hautement significatif entre les différentes variétés, le même effet est constaté entre les différentes concentrations salines, pour l'interaction variété x traitement, la même analyse a révélé une différence hautement significative (**Annexe 2**).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$  réalisé sur les vitesses moyennes de germination indique pour le facteur variété, trois groupes homogènes et un groupe chevauchant (**A** : V3 ; **AB** : V2, V1 ; **B** : V4 ; **C** : V5). Le même test révèle trois groupes homogènes pour le paramètre concentration (**a** : T0, T1 ; **b** : T2 ; **c** : T3).



**Figure 8:** Variation des vitesses moyennes de germination chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

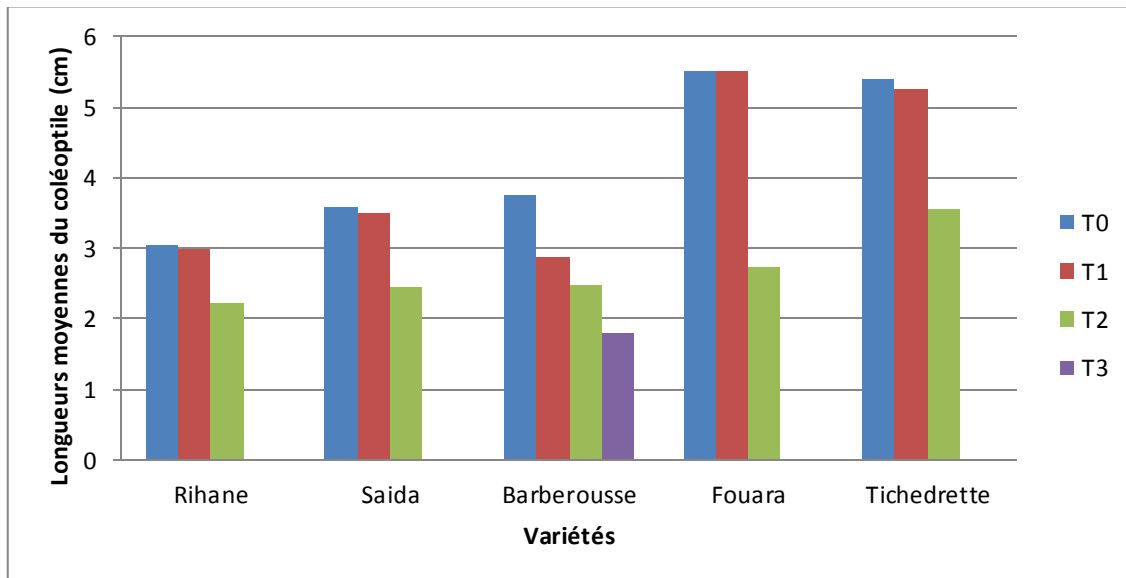
## 1.3. Longueur du coléoptile

La **figure n°9** montre que les longueurs des coléoptiles les plus élevées sont enregistrées au niveau des faibles concentrations salines (0mM et 75mM), elles sont d'autant plus moins, en revanche, chez les concentrations saline élevés (150 mM et 250mM). La plus grande valeur est enregistrée chez la variété Fouara avec 5.52 cm pour la concentration 75mM, quant à la concentration la plus sévère (T3 : 250mM), on en a enregistré aucune valeur, pour ce paramètre, chez les variétés Saïda, Fouara, Techedrette et Rihane (les

coléoptiles n'ont pas pu se développés chez cette concentration sévère) sauf la variété Barberousse .

Les résultats obtenus après l'analyse de la variance des longueurs moyennes des coléoptiles révèlent, un effet très hautement significatif entre les différentes variétés, le même effet est constaté entre les différentes concentrations salines ainsi que pour l'interaction variété x traitement (concentration saline) (**Annexe 3**).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$  réalisé sur les moyennes des longueurs des coléoptiles indique, pour le facteur variété, trois groupes homogènes et un groupe chevauchant (**A** : V5, V4 ; **B** : V3 ; **BC** : V2; **C** : V1), le même test révèle, pour le facteur concentration, trois groupes homogènes (**a** : T0, T1 ; **b** : T2 ; **c** : T3).



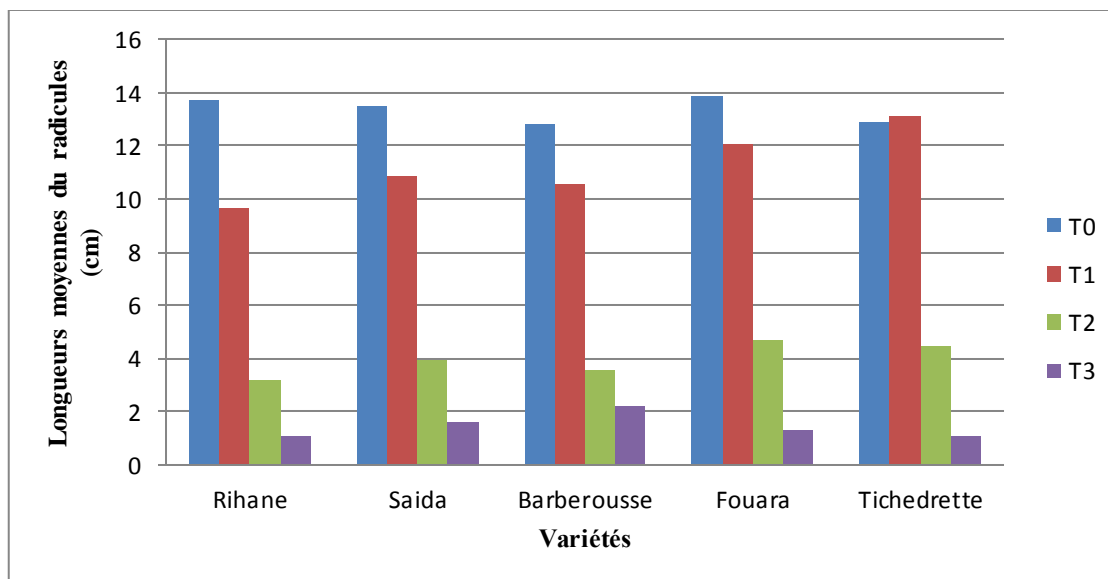
**Figure 9** : Variation des longueurs moyennes des coléoptiles chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

#### 1.4. Longueur de la racicule

Les résultats des longueurs des racicules sont un peu semblable pour les 5 variétés Rihane, Saïda, Fouara, Barberousse et Tichedrette comme la **figure n°10** le montre. En générale les longueurs des racicules sont élevés avec les concentrations salines très faibles (0mM et 75mM) et plus ou moins faibles chez les concentrations salines élevées (150mM et 250mM). La plus grande valeur est enregistrée avec les variétés fouara (13.91cm) chez le témoin, en revanche, la plus faible valeur est enregistrée avec la variété Rihane(1.04cm) chez la concentration 250mM.

Les résultats obtenus après l'analyse de la variance des longueurs moyennes des racines ne révèlent, aucune différence significative entre les différentes variétés, un effet très hautement significatif est révélé entre les différentes concentrations, aucun effet, aussi, n'a été révélé pour l'interaction variété x traitement (**Annexe 4**).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$  réalisé sur les moyennes des longueurs des racines indique, pour le facteur concentration saline, quatre groupes homogènes (**a** : T0 ; **b** : T1 ; **c** : T2 ; **d** : T3).



**Figure 10:** Variation des longueurs moyennes des racines chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

## 2. Culture en pots

### 2.1. Paramètres physiologiques

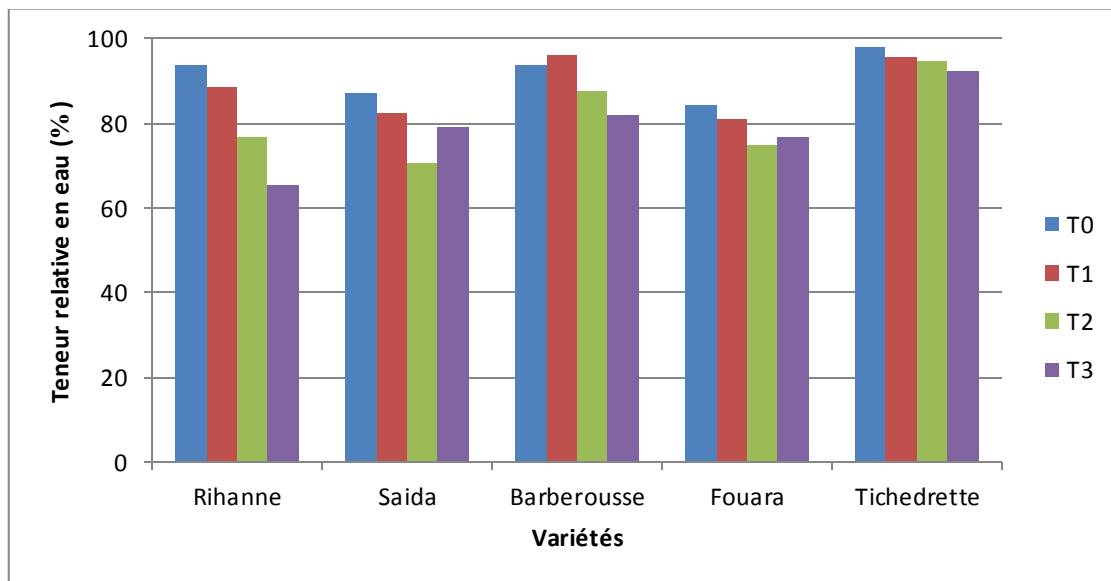
#### 2.1.1. Teneur relative en eau (TRE)

La **figure n°11** présente un paramètre physiologique très important pour mettre en évidence l'état de la balance hydrique d'une plante, c'est la teneur relative en eau TRE, ce dernier varie selon la concentration saline, Une nette diminution de la teneur relative en eau est observée chez toutes les variétés d'orge. En fonction de la concentration saline, la TRE varie de 95.56%, valeur enregistrée chez le témoin T0 (0mM) pour la variété Tichedrette à 63,28 %, enregistrée chez le T3 (250mM) pour la variété Rihane. Les deux génotypes Saida et Fouara marquent des valeurs de TRE très proches entre elles, (87.1 et 84,25%) pour T0 (témoin) et 82.54 et 80.79% pour T2 (150 mM) respectivement. La même observation est notée chez les deux autres génotypes Tichedrette avec Barberousse pour les 4 traitements. La

variété Tichedrette présentant les pourcentages les plus élevés en TRE, indique une meilleure résistance au stress.

L'analyse de la variance réalisé sur ce paramètre, révèle un effet très hautement significatif entre les différentes variétés, le même effet est constaté entre les différentes concentrations salines, ainsi que l'interaction variété x traitement (Annexe 5).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$  réalisé sur les moyennes des teneurs relatives en eau indique, pour le facteur variété, trois groupes homogènes (A : V5 ; B : V3 ; C : V1, V2 et V4), le même test révèle, pour le facteur concentration, trois groupes homogènes (a : T0 ; b : T1 ; c : T2 et T3).



**Figure 11 :** Variation des teneurs relatives en eau moyennes (TRE) chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

### 2.1.2. Taux de déperdition de l'eau par la feuille excisée

L'évaluation de la perte d'eau par la feuille excisée constitue l'une des principales stratégies d'économie d'eau en situation de stress que ce soit hydrique ou salin.

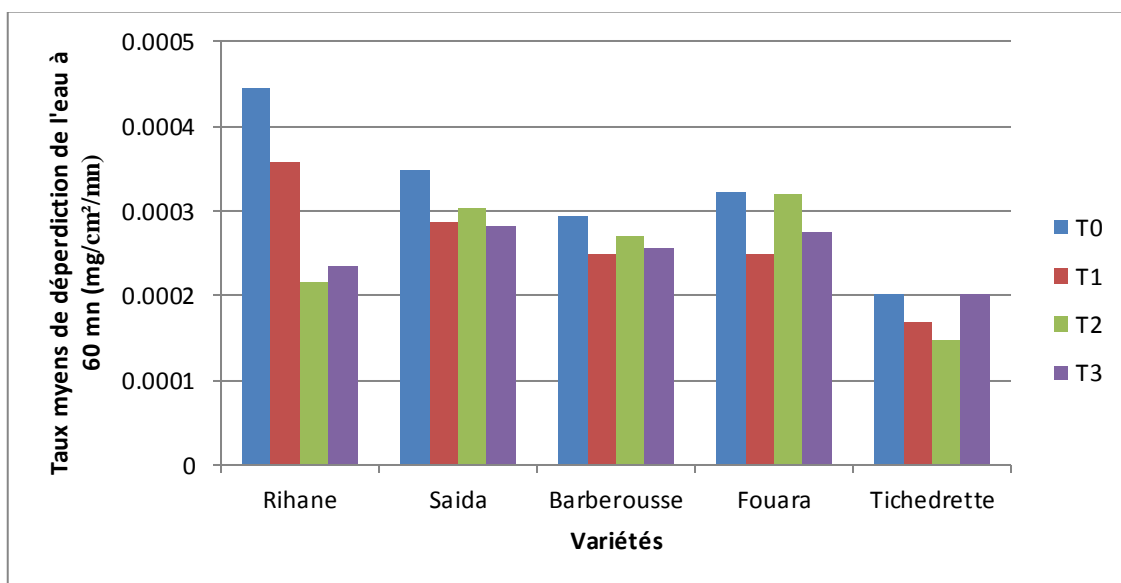
#### a) A la première heure

L'analyse du taux de déperdition de l'eau par la feuille excisée à sa base et maintenue dressée pendant 60 mn dans les conditions du laboratoire, est réalisée pour estimer la masse d'eau perdue par la transpiration produite essentiellement à travers les stomates. Les pertes d'eau semblent être plus importantes dans les feuilles des variétés non soumises à la salinité par rapport aux feuilles des plantes stressées (figure 12), les plus fortes valeurs sont enregistrées chez la variété Rihane, les trois variétés Saida Barberousse et Fouara marquent

des valeurs très rapprochées entre elles, quant à la variété Tichedrette, elle marque les plus faibles valeurs.

Les résultats obtenus après l'analyse de la variance des taux de la déperdition de l'eau par les feuilles, après une heure, révèlent une différence très hautement significative entre les variétés, en revanche, aucun effet n'est observé pour le facteur concentration saline et pour l'interaction variété x traitement(Annexe 6).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$  réalisé sur les moyennes des taux de la déperdition de l'eau par la feuille, après une heure, indique pour le facteur variété, deux groupes homogènes (A : V5; B : V3, V4, V2 et V1).

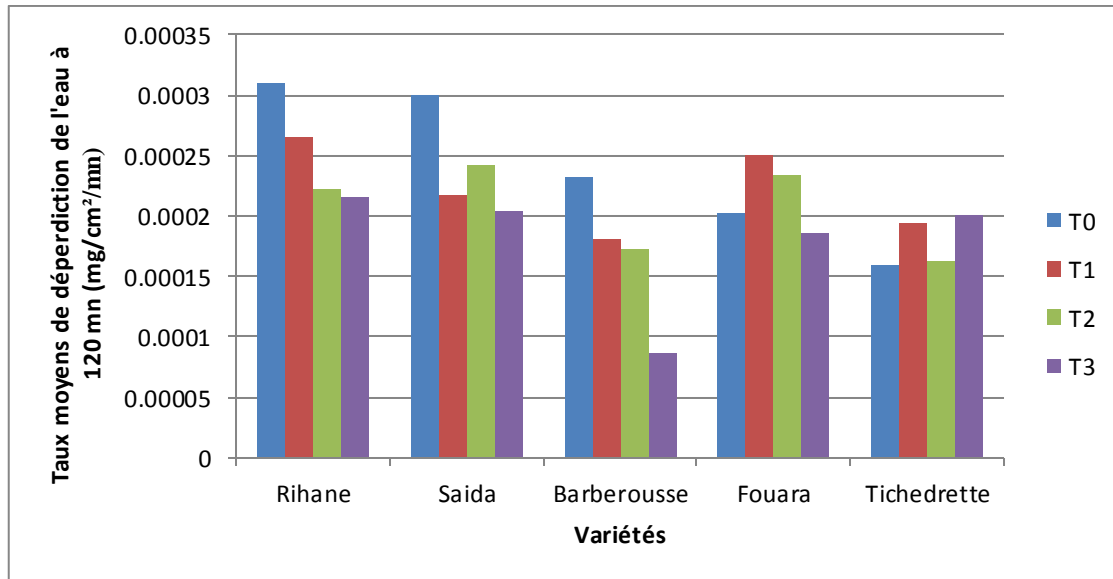


**Figure n°12 :** Variation des taux moyens de déperdition de l'eau à la première heure chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

#### b) A la deuxième heure

Ce paramètre est présenté par les pertes d'eau produites, suite à la non-fermeture complète des stomates à travers la cuticule. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées chez les trois géotypes Rihane, Saida et Barberousse, les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des feuilles non stressées (chez le T0) avec des valeurs respectives 0.00031, 0.0003 0.000232 mg/cm²/mn, contrairement aux deux autres variétés Fouara et Tichedrette qui ont marqué les plus fortes valeurs au niveau des feuilles modérément stressées (T1).

L'analyse de la variance effectuée sur ce paramètre, ne révèle aucun significatif pour les trois facteurs(concentration saline, traitement et bloc)(Annexe 6).



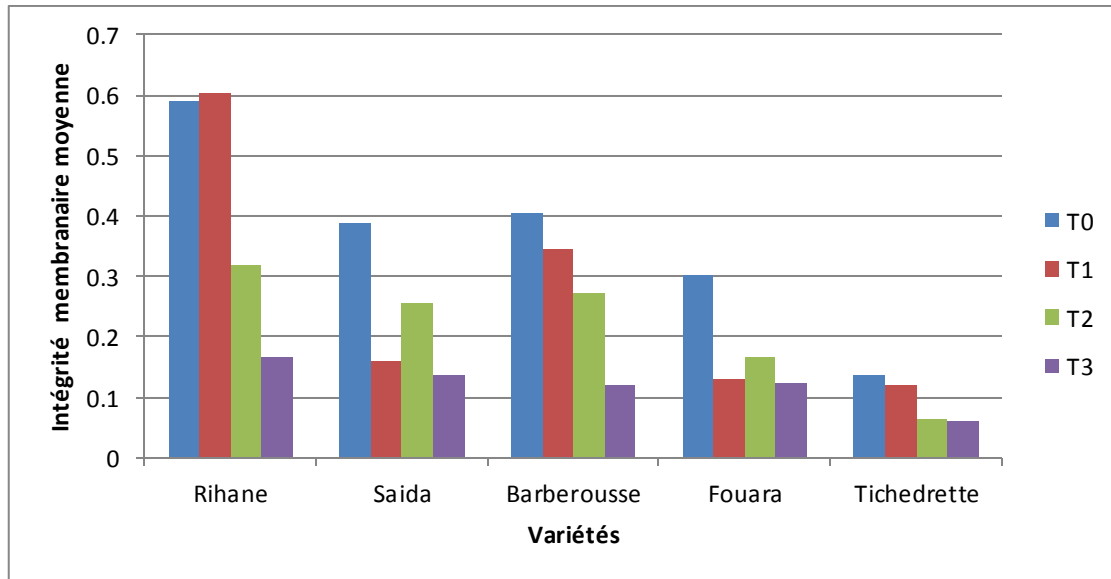
**Figure n°13 :** Variation des taux moyens de déperdition de à la deuxième heure chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

### 2.1.3. Intégrité membranaire

Ce paramètre a été évalué par les mesures de la conductivité électrique. La **figure n°14** montre que les valeurs diminuent en fonction de la concentration saline, les plus faibles taux ont été notés chez les concentrations salines les plus sévères (250 mM) avec 0.061 et 0.012 respectivement pour les variétés Tichedrette et Fouara. Quant aux valeurs les plus élevées, elles sont enregistrées au niveau de la variété Rihane avec 0.60 et 0.59 respectivement pour le T1 et le T0. On remarque un rapprochement dans le comportement des deux variétés Saida et Barberousse par rapport à ce paramètre.

L'analyse de la variance effectuée sur ce paramètre, révèle un effet très hautement significatif pour le facteur variété, le même effet est révélé pour le facteur concentration (**Annexe 7**).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$  réalisé sur les moyennes de l'intégrité membranaire indique, pour le facteur variété, trois groupes homogènes et deux chevauchants (**A** : V1 ; **B** : V3 ; **BC** : V2 ; **CD** : V4 ; **D** : V5), le même test révèle trois groupe homogène pour le facteur concentration (**a** : T0 ; **b** : T1, T2 ; **c** : T3).



**Figure n°14 :** Variation de l'intégrité membranaire moyenne chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

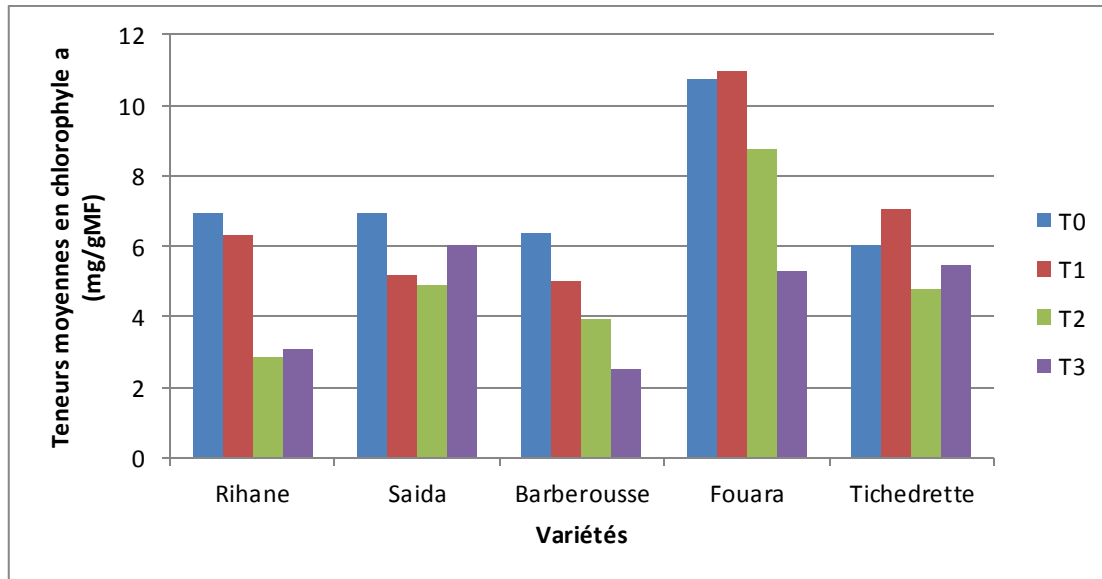
## 2.2. Paramètres biochimiques

### 2.2.1. Teneur en chlorophylle a

Ce paramètre évaluée d'après l'analyse spectrophotométrique, les résultats obtenus sont présent dans la **figure 15**, on observe une variation dans la teneur en chlorophylle entre les différentes variétés, ces teneurs diminuent en fonction de la sévérité des concentrations salines, les teneur sels plus importantes sont enregistrés au niveau du témoin chez, pratiquement, toutes les variétés à l'exception de la variété Tichedrette. Les fluctuations de la teneur en chlorophylle a oscillent entre une valeur maximale de l'ordre de 10,98 mg-1.g-1 MF et une valeur minimale égale à 2,48 mg-1.g-1 MF notées respectivement par les géotypes Fouara et Barberousse.

L'analyse de la variance réalisée sur la teneur en chlorophylle (a) montre un effet très hautement significatif pour les deux facteurs étudiés à savoir la variété et la concentration saline, la même analyse ne révèle aucun significatif pour l'interaction variété x traitement (**Annexe 8**).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$  réalisé sur les moyennes des teneurs en chlorophylle a indique, pour le facteur variété, deux groupes homogènes (**A** : V4; **B** : V2, V5, V1 et V3), le même test révèle deux groupe homogène pour le facteur concentration (**a** : T0, T1 ; **b** : T2 et T3).



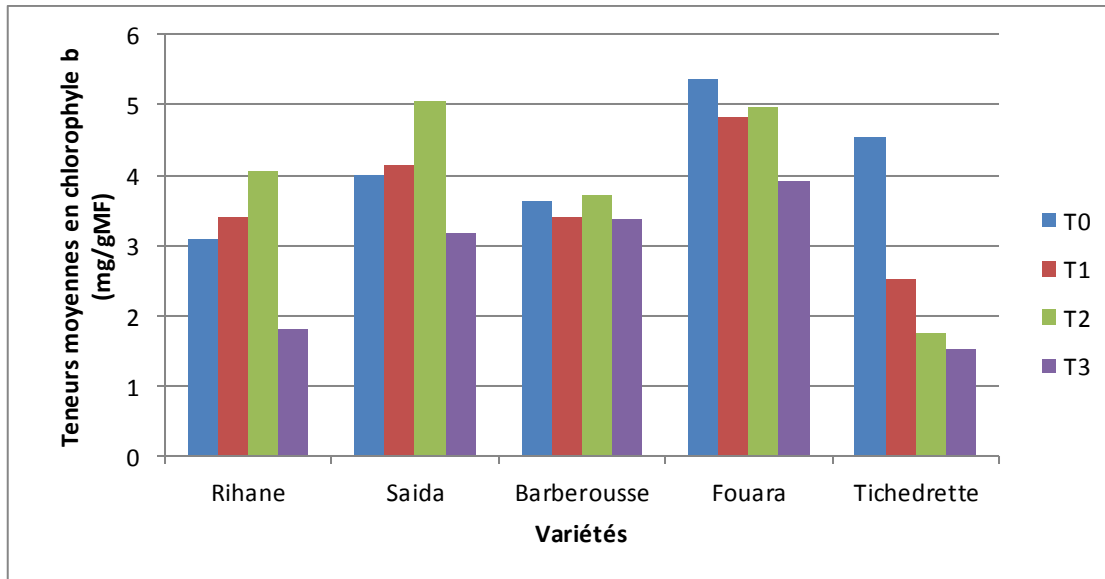
**Figure n°15 :** Variation des teneurs moyennes en chlorophylle a chez les 5 variétés d’orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

### 2.2.2. Teneur en chlorophylle b

La figure 16, montre les résultats moyens de la teneur en chlorophylle b, on observe que les teneur sels plus importantes sont enregistrés au niveau du témoin chez les trois variétés Fouara, Tichedrette et Barberousse avec des valeurs de 5,37, 4,55 et 3.64 mg-1.g-1 MF respectivement. En revanche, chez les variétés Rihane et Saida, les teneurs en chlorophylle b sont d’autant plus importantes que le stress salin augmente (T2 : 150 mM). Les teneurs les plus faibles sont enregistrées au niveau de la concentration la plus sévère (T3 : 250 Mm) chez toutes les variétés avec 1,52et 1.82 mg-1.g-1 MF respectivement chez Tichedrette et Rihane.

L’analyse de la variance réalisé sur la teneur en chlorophylle b montre une différence significative pour le facteur, en revanche aucun effet n’est révélé pour le facteur concentration saline et pour l’interaction variété x traitement (**Annexe 9**).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$  réalisé sur les moyennes des teneurs en chlorophylle b indique, pour le facteur variété, deux groupes homogènes et un groupe chevauchant (**A** : V4; **AB** : V2, V3 ; **B** : V1, V5).



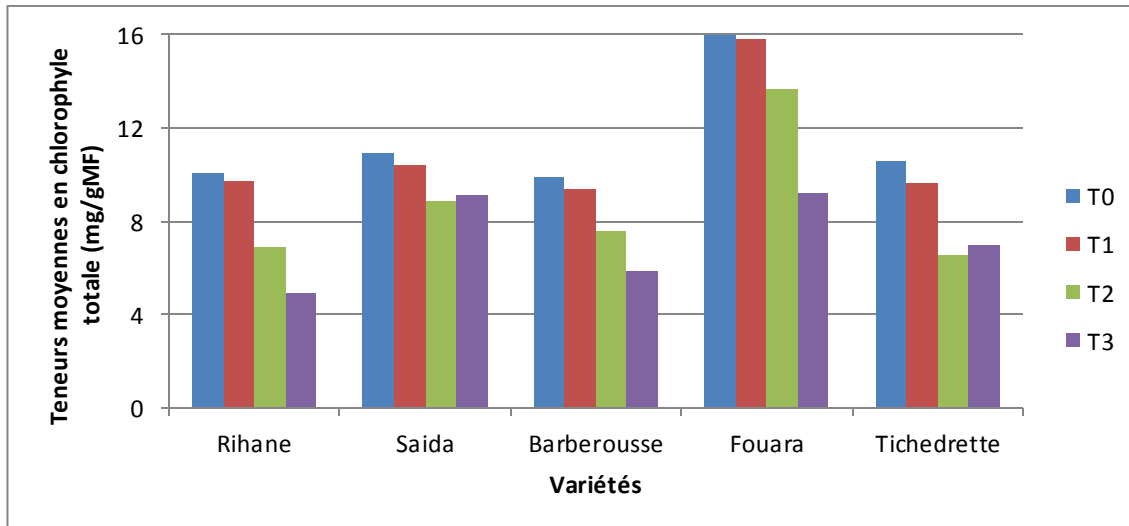
**Figure n°16 :** Variation des teneurs moyennes en chlorophylle b chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

### 2.2.3. Teneur en chlorophylle totale

La teneur en chlorophylle totale résulte d'un assemblage de la teneur en chlorophylle a et b ( $chl\ T = chl\ a + chl\ b$ ), dans la **figure 17** on observe une diminution de la teneur en chlorophylle totale en fonction de l'augmentation de concentration saline chez toutes les variétés, les plus fortes teneurs ont été observées au niveau du témoin (T0) avec respectivement 16,12, 10,95 et 10,04 mg-1.g-1 MF, pour Fouara, Saida et Rihane, cette teneur a été significativement réduite sous l'effet du stress salin chez les toutes variétés dont a enregistré les teneurs les plus faibles au niveau de la T3 (250 Mm) avec 4,91 et 5,86 mg-1.g-1 MF respectivement chez Rihane, et Barberousse.

L'analyse de la variance réalisée sur la teneur en chlorophylle totale montre un effet très hautement significatif pour les deux facteurs étudiés : la variété et la concentration saline, aucun effet par contre n'est constaté pour l'interaction variété x traitement (**Annexe 10**).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$  réalisé sur les moyennes des teneurs en chlorophylle totale indique, pour le facteur variété, deux groupes homogènes (**A** : V4; **B** : V2, V5, V3 et V1), le même test révèle, pour le facteur concentration, deux groupes homogènes et deux groupes chevauchants (**a** : T0 ; **ab** : T1; **bc** : T2 ; **c** : T3).



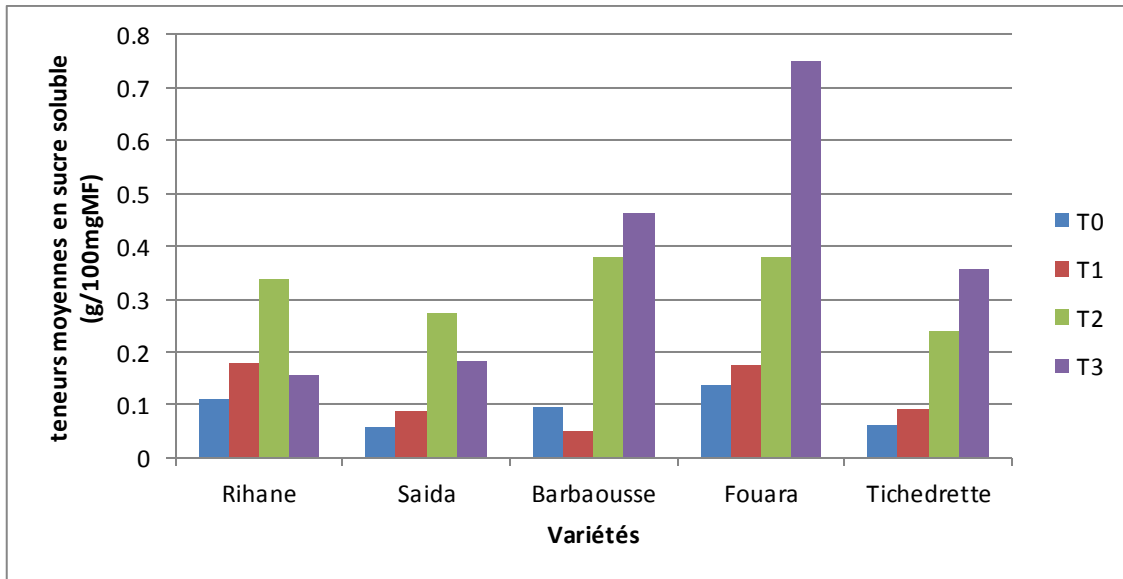
**Figure n°17** : Variation des teneurs moyennes en chlorophylle totale chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

#### 2.2.4. Teneur en sucres solubles

La **figure 18**, présente les variations de la teneur en des sucres solubles des différentes variétés d'orge étudiées en fonction de l'intensité du stress salin. On remarque une augmentation de la teneur en sucre soluble chez les plantes stressées par rapport au témoin, les teneurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau des plantes soumises à un stress sévère chez l'ensemble des variétés, la teneur la plus élevée est enregistrée chez la variété Fouara avec  $0.75\mu\text{g}/100\text{mg MF}$  au niveau de la concentration 250 Mm.

L'analyse de la variance, réalisée sur les teneurs en sucres solubles, révèle un effet très hautement significatif pour le facteur variété, le même effet est observé pour le facteur concentration saline et pour l'interaction variété x traitement (**Annexe 11**).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$  réalisé sur les teneurs moyennes en sucres solubles indique, pour le facteur variété, deux groupes homogènes et un groupe chevauchant (**A** : V4; **AB** : V3 ; **B** : V1, V5, V2), le même test révèle, pour le facteur concentration, deux groupes homogènes (**a** : T3, T2 ; **b** : T1, T0).



**Figure n°18 :** Variation des teneurs moyennes en sucres solubles chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

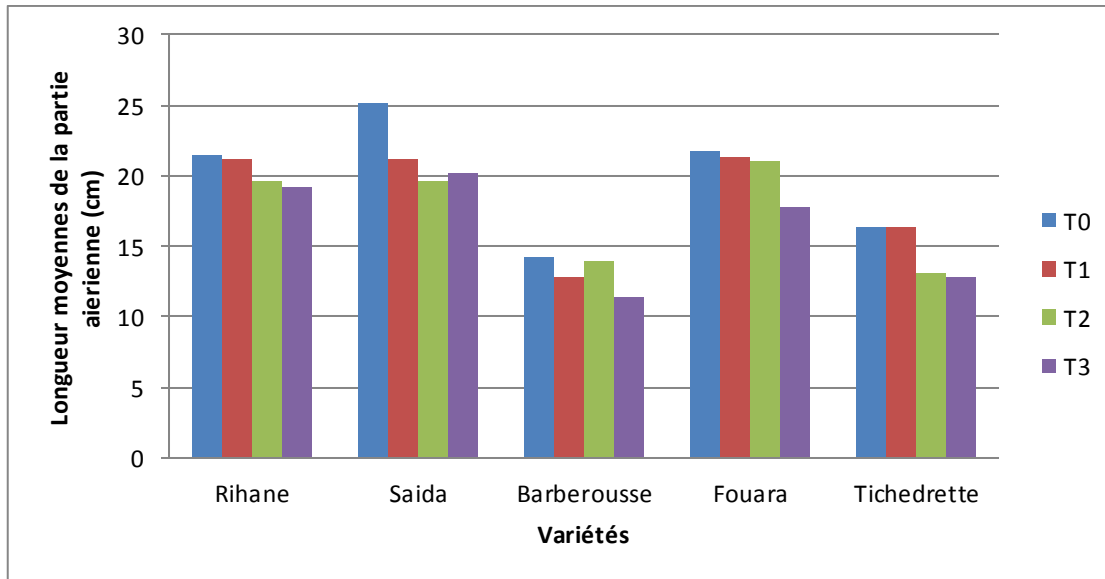
## 2.3. Paramètres morphologiques

### 2.3.1. Longueur de la partie aérienne

Les résultats obtenus dans la **figure 19**, montrent que la longueur de la partie aérienne passe par ordre décroissant à chaque fois que la concentration saline augmente. La variété Saïda présente la plus grande valeur, soit 25.19 cm chez le témoin alors que la plus petite est enregistrée chez la variété Barberousse avec une longueur de 11,34 cm. La variété Barberousse a enregistré les plus faibles résultats par rapport aux autres variétés avec les 4 concentrations salines confondues.

L'analyse de la variance réalisée sur ce paramètre, révèle un effet très hautement significatif entre les différentes variétés, le même effet est constaté entre les différentes concentrations salines, en revanche, aucun effet n'est révélé pour l'interaction variété x traitement (**Annexe 12**).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$  réalisé sur les moyennes des longueurs des parties aériennes indique, pour le facteur variété, deux groupes homogènes (**A** : V2, V4, V1 ; **B** : V5, V3), le même test révèle, pour le facteur concentration, deux groupes homogènes et deux groupes chevauchants (**a** : T0 ; **ab** : T1 ; **bc** : T2 ; **c** : T3).



**Figure n°19:** Variation des longueurs moyennes de la partie aérienne chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

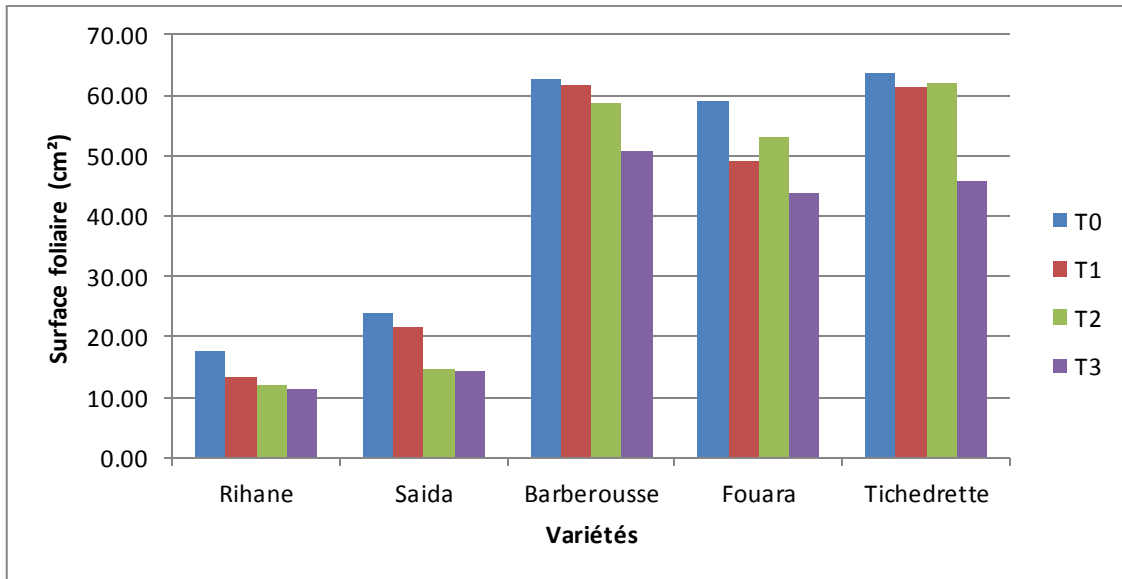
### 2.3.2. Surface foliaire

Les valeurs moyennes des surfaces foliaires sont représentées dans la **figure n°20** qui montre que ces dernières sont élevées chez les 3 variétés : Techedrett ,Barbarousse et Fouara , par rapport à Saïda et Rihane. En générale les surfaces foliaires sont élevées avec les témoins (0mM) avec une légère diminution chez les autres traitements.

La plus grande valeur est enregistrée chez la variété Barbarousse (69.455 cm<sup>2</sup>) pour la concentration 0mM, la plus faible valeur est enregistrée, en revanche, chez la variété Rihane (10.01 cm<sup>2</sup>) avec la concentration 250mM.

L'analyse de la variance réalisée sur ce paramètre, révèle une différence très hautement significative entre les différentes variétés, la même différence est constatée entre les différentes concentrations salines, aussi que pour l'interaction variété x traitement (**Annexe 13**).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$  réalisé sur les moyennes des surfaces foliaires indique, pour le facteur variété, quatre groupes homogènes (**A** : V3, V5 ; **B** : V4 ; **C** : V2 ; **D** : V1), le même test révèle, pour le facteur concentration, trois groupes homogènes (**a** : T0 ; **b** : T1, T2 ; **c** : T3).



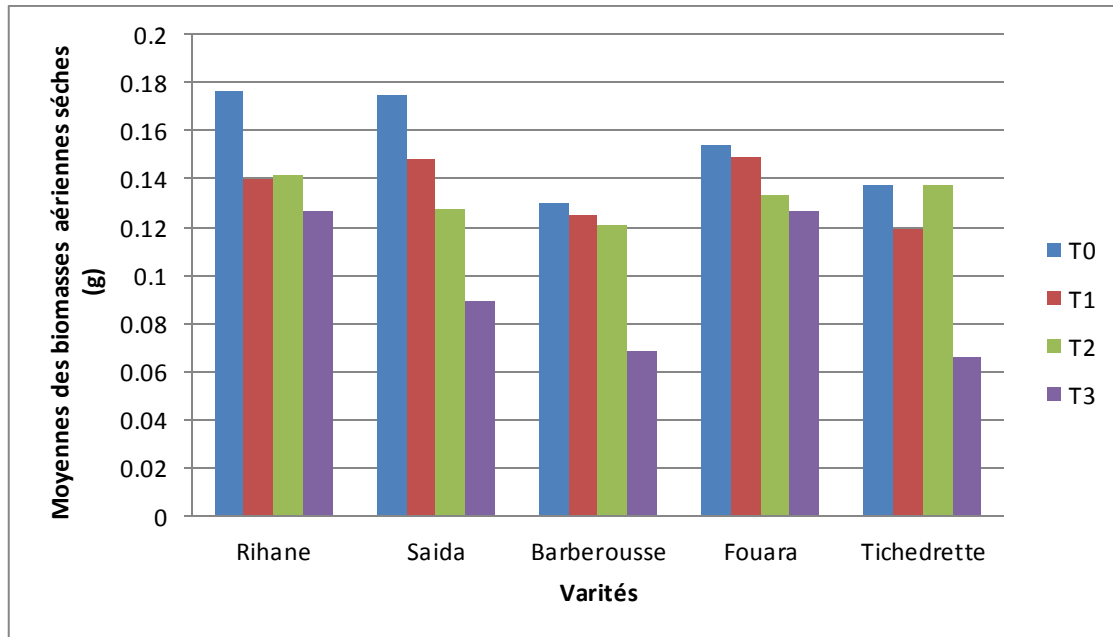
**Figure 20 :** Variation des surfaces foliaires moyennes chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

### 2.3.3. Biomasse aérienne sèche

Une diminution notable de la biomasse aérienne sèche (**figure n°21**) par rapport aux témoins pour les 5 variétés stressées avec les 3 concentrations 75 mM, 150 mM et 250 mM. Les variétés Rihane et Saïda présentent les meilleures valeurs avec respectivement 0.18g et 0.175 g chez le témoin, alors que le faible résultat est obtenu chez la variété Tichedrette (0.066g) avec la concentration 250 mM.

L'analyse de la variance réalisée sur ce paramètre, montre un effet très hautement significatif pour les deux facteurs étudiés, à savoir la variété et la concentration saline, aucun effet, par contre, n'est constaté pour l'interaction variété x traitement (**Annexe 14**).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$  réalisé sur les moyennes des biomasses aériennes sèches indique, pour le facteur variété, deux groupes homogènes et trois groupes chevauchants (**A** : V1 ; **AB** : V4 ; **ABC** : V2 ; **BC** : V5 ; **C** : V3). Le même test révèle trois groupes homogènes et un chevauchants pour le paramètre concentration (**a** : T0 ; **ab** : T3 ; **b** : T1 ; **c** : T3).



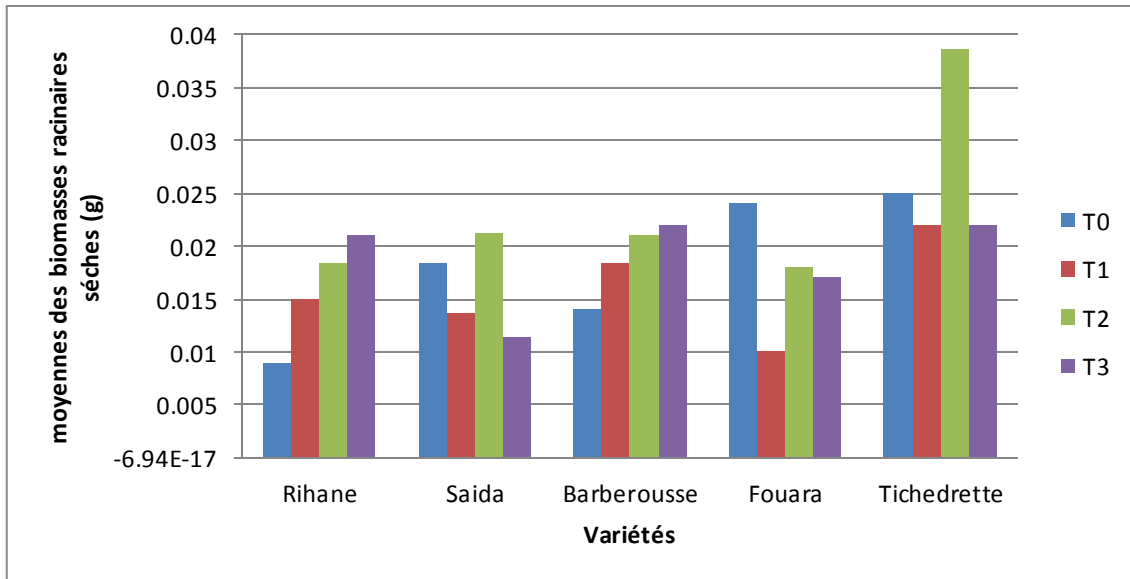
**Figure n°21:** Variation des moyennes des biomasses aériennes sèches chez les 5 variétés d’orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations salines.

#### 2.3.4. biomasse racinaire sèche

La **figure n°22** montre que les moyennes des biomasses racinaires sèches des 5 variétés d’orge varient selon les variétés ainsi que les concentrations saline. Les trois géotypes Rihane, Saida et Barberousse marquent des valeurs très proches entre elles, (0,015, 0,013 et 0,018g) pour T1 (75 mM), (0,018, 0,021 et 0,022g) pour T2 (150 mM) respectivement. La variété Tichedrette présente les biomasses racinaires les plus élevés.

L’analyse de la variance réalisé sur ce paramètre, révèle un effet très hautement significatif entre les différentes variétés, un effet hautement significatif est constaté entre les différentes concentrations salines, et pour l’interaction variété x traitement, la même analyse à révélé un effet significatif (**Annexe 15**).

Le test de Tukey au seuil  $\alpha = 5\%$ , réalisé sur les moyennes des biomasses racinaires sèches, indique, pour le facteur variété, deux groupes homogènes (**A** : V5 ; **B** : V3, V4, V2, V1), le même test révèle, pour le facteur concentration, deux groupes homogènes et un chevauchant (**a** : T2, **ab** : T3 ; T0 ; **b** : T1).



**Figure n°22:** Variation des moyennes des biomasses racinaires sèches chez les 5 variétés d'orge (*Hordeum vulgare*) soumises aux différentes concentrations

## DISCUSSION GENERALE

### I. Test de germination

L'influence de la salinité sur le pouvoir germinatif des cinq génotypes d'orge étudiés s'est manifestée par une réduction du taux de germination par rapport aux témoins, réduction d'autant plus importante que la concentration en sel est élevée. Des résultats analogues ont été observés par (**Ben Naceur, 2001**) sur le blé dur.

La germination des graines est un ensemble de processus métaboliques aboutissent à l'émergence de la radicule. Ce stade de développement est considéré comme une étape critique dans l'établissement des semis et ainsi la détermination d'une production agricole réussie (**Benidire et al., 2015**),

Selon **Prado et al. (2000)**, la diminution du taux de germination des graines soumises à un stress salin serait due à un processus de dormance osmotique développé sous ces conditions de stress, le sel retarde également la germination et ralentit sa vitesse. Ce retard pourrait être du à l'altération des enzymes et des hormones qui se trouvent dans la graine (**Botia et al., 1998**). **Huang Redman (1995)** rapporte que la salinité occasionne une diminution de l'absorption d'eau des graines à cause du stress osmotique crée par les concentrations élevées de NaCl dans les milieux de germination, mais cet effet de stress salin n'est pas permanent, par ce que le sel à l'inverse des autres substrats osmotiques (PEG) peut pénétrer à l'intérieur de tissus de la graine.

Selon **Grouzis et al.(1976)**, la vitesse des graines à germer est d'autant plus lente que la salinité du milieu est augmentée. La plupart des auteurs admettent l'existence de cette relation chez les halophyte et les glycophytes et concluent que la durée de processus de germination est grandement affectée. La diminution de la vitesse de germination correspond soit à une augmentation de la pression osmotique externe, ce qui affecte l'absorption de l'eau par les graines et/ou bien à une accumulation des ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> dans l'embryon. Cet effet toxique peut conduire à l'altération des processus métaboliques de la germination et dans le cas extrême à la mort de l'embryon par excès d'ions (**Bliss et al., 1986**).

**Bourdu (1993)** rapporte qu'en présence des hautes concentrations en sels, l'embryon exprime une incapacité à déclencher des fonctions métaboliques pour utiliser les produits de dégradation venant des réserves de l'albumen. Ces métabolites, en priorité des composés glucidiques et azotés fonctionneraient comme des régulateurs osmotiques potentiels lors d'un stress salin

Sur le plan élancement de la partie aérienne et de la partie souterraine, le stress salin affecté sérieusement la longueur du coléoptile et la radicule des variétés d'orge testées. D'après nos données, il y a une différence entre les cinq variétés pour les deux paramètres de croissance évalués pendant la germination, on a remarqué une réduction régulière de la taille du coléoptile et la radicule sous l'effet des concentrations croissantes de NaCl, plus la concentration saline augmente, plus la longueur du coléoptile diminue. Ceci concorde avec les résultats obtenus par **Kadri et al. (2009)** ; **Ines et al. (2014)**.

Pendant la germination, l'émergence de la radicule serait contrôlée par l'osmolarité du milieu, alors que la croissance ultérieure de la plantule serait limitée par la mobilisation et le transport des réserves vers l'axe embryonnaire (**Gal et al., 2004**). Il pourrait s'agir également d'une difficulté d'hydratation des graines suite à un potentiel osmotique élevé entraînant une certaine inhibition des mécanismes aboutissant à la sortie de la radicule hors des téguments et par conséquent un retard de germination des graines (**Gill et al., 2003**).

D'après notre travail, la variété Barberousse semble mieux tolérer le stress salin lors de la germination, et on a remarqué que la plus forte concentration a provoqué une faible diminution du taux de germination de cette variété.

De nos résultats, nous essayerons d'expliquer dans la suite de ce travail (2<sup>ème</sup> partie) la réaction de notre matériel végétal avec les différentes concentrations en NaCl durant la phase adulte (plein tallage).

## **II. Paramètres physiologiques**

Un excès de sel est d'abord un stress chimique mais qui provoque également un stress physique en limitant la disponibilité de l'eau pour les organismes exposés. Un premier niveau d'adaptation des plantes à la salinité est l'ajustement osmotique. La plante peut ajuster son potentiel osmotique en l'abaissant et par conséquent elle diminue son potentiel hydrique foliaire et maintient la turgescence de ses cellules. La plante possède alors une faculté à conserver l'intégrité de ses structures membranaires et de son activité photosynthétique (**Zid et Grignon, 1986**).

La mesure du potentiel hydrique foliaire, montre que l'augmentation de l'intensité du stress salin provoque un abaissement du potentiel hydrique foliaire, chez toutes les accessions, comparativement à leurs témoins respectifs. Ce résultat est tout à fait conforme à ce qui a été mentionné par plusieurs auteurs dont **Zid et Grignon, (1986)**. Pour la présente étude, le contenu en eau n'a pas diminué beaucoup, il reste compris entre 97,83% enregistré avec le

témoin (T0=0mM) chez la variété Tichdrette et 65, 28%enregistre avec le T3(T=250mM) chez la variété Saida, ce qui révèle la capacité de nos variétés à maintenir une teneur en eau plus ou moins stable même si elle diminue légèrement mais significativement. **Boursier et al. (1987) et Eleuch et al. (2004)**, n'ont observé une différence significative qu'après 54.54 mM de NaCl. **Delane et al.(1982) et Touraine et Ammar (1985)** n'ont, de leur côté, noté aucun changement significatif pour le contenu en eau des tissus foliaires des plants d'orges soumis à des concentrations de 0 et 169.02 mM de NaCl.

La présence des sels diminue le potentiel hydrique de la solution du sol et réduit la capacité des plantes à absorber de l'eau, ce qui fait perdre de l'eau aux cellules foliaires et réduit leur taux d'élongation, créant une situation semblable au déficit hydrique dans le sol (sécheresse physiologique), ce qui provoque une réduction de la croissance des feuilles. Ceci est désigné sous le nom de l'effet osmotique ou l'effet de déficit hydrique de la salinité (**Munns et Tester, 2008**).

Plusieurs chercheurs ont montré que les feuilles qui proviennent de plantes stressées perdent plus d'eau que les plantes non stressées(**Clark et Mac-Caig, 1982**), c'est le cas de nos deux variétés Tichedrette et Fouara, qui ont marqué des taux de déperdition d'eau plus élevés chez les plantes stressées par rapport aux témoins. D'autres, **Kirkham et al. (1980)**,relie directement la perte d'eau à la surface foliaire, plus la surface est large, plus le taux de déperdition augmente, comme dans le cas de notre étude, nos résultats indiquent que les plantes stressées des variétés Saida, Rihane et Barberousse perdent une quantité d'eau moins que chez les plantes non stressées. Certaines variétés ont la particularité de l'enroulement des feuilles lors d'un déficit hydrique causé par la salinité. Cet enroulement lui permet la diminution des pertes d'eau par transpiration cuticulaire(**El-Hakimi, 1991**).

La membrane plasmique est la première à entrer en contact avec le sel, c'est le principal site d'interaction du sel avec la plante. Le transport des ions à travers la membrane plasmique semble jouer un rôle important dans le mécanisme par lequel la cellule d'orge peut maintenir un bon rapport  $K^+/Na^+$  dans le cytoplasme (**Brown et al., 1989**) et pour qu'elle joue son rôle dans la tolérance à la salinité elle doit maintenir son intégrité membranaire qui reflète en fait les changements de la composition et de la structure des membranes.

L'intégrité membranaire ou perméabilité membranaire est estimée par la mesure de la fuite relative d'électrolytes qui est basée sur le fait que les cellules endommagées par le stress libèrent facilement leurs électrolytes, tandis que les cellules intact maintiennent leurs électrolytes symplectiques et par conséquent la libération des électrolytes est faible. Au niveau des feuilles des variétés ne se manifestent qu'à partir des concentrations supérieures à

4,4g/l, l'augmentation de la fuite d'électrolytes est la conséquence d'une hausse de la diffusion passive à travers la couche phospholipidique membranaire lésée par le sel et/ou d'une inactivation des protéines participant au transport actif des ions. (**Hopkins et Evard, 2003**).

La stabilité des membranes cellulaires est un facteur important de la tolérance des plantes au stress hydrique. Cette stabilité dépend sous condition de stress des propriétés des protéines membranaires, de la composition lipidique et de l'activité de mécanismes de défense contre la dégradation des membranes (**Sgherri et al., 1993**). Des perturbations dans la structure et le fonctionnement des membranes, sont les principales causes de dommages causés par le sel: les membranes deviennent très poreuses lorsqu'elles sont desséchées ce qui provoquerait le déplacement des protéines membranaires, qui du fait de la fuite de solutés, contribue à une perte de sélectivité des membranes, une destruction généralisée de la compartimentation cellulaire ainsi qu'à une perte des activités des enzymes membranaires (**Hopkins et Evard, 2003**). L'instabilité membranaire peut être due à une altération des lipides provoquée par des molécules actives d'oxygène. En effet, il est admis que le stress salin est accompagné d'un stress oxydatif qui augmente la production des radicaux libres provoquant, ainsi, une peroxydation des lipides membranaires (**Smirnoff, 1993**).

Nos résultats sont en accord avec ceux d'**Alem et al. (2001)**, et **Huang et al. (2006)** pour l'orge et de **Shafqat et Farooq (2006)** pour le blé, qui ont noté une diminution de la stabilité membranaire avec l'augmentation de l'intensité du stress imposé par les différents traitements salins. La diminution est faible pour les doses de sel modérées et elle est plus importante et plus générale avec les doses de salinité les plus sévères (sup à 250mM).

### **III. Paramètres biochimiques**

L'effet du sel sur la teneur en pigments photorécepteurs de la chlorophylle a, b, d'une part, et de la chlorophylle totale ab, d'autre part, varie en fonction de variétés.

Les résultats obtenus montrent une réduction causée par le stress salin chez les variétés étudiées. Cette réponse est fonction de l'intensité du stress et de la variété. Aussi, cette diminution est expliquée par **Doudech et al., (2008)**, par la dégradation des membranes de thylakoides des chloroplastes et l'altération du processus photosynthétique. Ainsi, la réduction de la surface foliaire semble être une des causes de la diminution de la teneur en pigments photorécepteurs chez l'orge.

La quantité de pigments foliaires et en particulier des chlorophylles peut être influencée par beaucoup de facteurs liés à la plante (âge des feuilles et position des feuilles) et des facteurs environnementaux (lumière, température, sel et disponibilité en eau) (**Hikosaka et al. 2006**). **Khosravinejad et al. (2008)**, ont enregistré une diminution de la teneur en chlorophylle totale accompagnée d'une accumulation des caroténoïdes pour toutes les doses de sel utilisées. La diminution de la teneur en chlorophylles sous l'effet des doses élevées de sel peut être due aux dommages causés par les formes actives d'oxygène au niveau du chloroplaste, ainsi être le signe d'un stress photo-oxydatif, ou plus probablement d'un mécanisme d'acclimatation (adaptation) de la machinerie photosynthétique (**Smirnov 1995**).

Les variations de la quantité et de la proportion des pigments photosynthétiques peuvent ainsi constituer un indicateur de tolérance, qui est facilement mesurable. Une diminution de la chlorophylle pourrait être attribuée à la diminution de la tolérance des tissus face à des concentrations élevées en Na<sup>+</sup>, ou à la sénescence prématurée provoquée par des signaux à partir des racines (**Munns, 2011**).

Les Sucres totaux solubles ont aussi connus une augmentation de la concentration en réponse au stress salin pour tous les génotypes étudiés, mais cette augmentation est différente d'un génotype à l'autre selon leur réaction vis-à-vis la salinité. L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci, est réalisé grâce à une accumulation de composés compatibles osmorégulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant, ainsi, le maintien du potentiel de turgescence (**El Midaoui et al., 2007**). L'osmorégulation permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes (**Ottow et al., 2005**).

Les sucres sont considérés, par plusieurs auteurs comme de bons osmorégulateurs (**Manzanares et al., 1998**) qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes au stress osmotique (**Morgan, 1984 ; Gamal et al., 2012**). En effet les sucres, même s'ils représentent des osmotiques beaucoup moins puissants, ils participent, eux 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**), et permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes stressés ainsi que une protection des protéines (**Darbyshire, 1974**).

L'accumulation des sucres semble induire la gélification du contenu cellulaire en saturant le milieu intracellulaire, ce phénomène permettant d'éviter la cristallisation des

molécules contenues dans la cellule, et donc limite les dommages au niveau des structures cellulaires( **Dubos, 2001**) .Plusieurs études physiologiques ont démontré que l'accumulation des sucres et des polyols, principalement suite à l'hydrolyse de l'amidon (**Hoekstra et al., 2001; Phillips et al., 2002**), était stimulée par un stress salin chez différentes espèces végétales (**Gilmour et al., 2000; Streeter et al., 2001; Taji et al., 2002; Bartels et Sunkar 2005; Majumder et al., 2010**). Une forte corrélation a été établie entre l'accumulation des sucres et le niveau de tolérance à la salinité (**Gilmour et al., 2000; Streeter et al., 2001; Taji et al., 2002; Bartels et Sunkar 2005**).

#### **IV. Paramètres morphologiques**

Dans cette partie, nous avons traité l'effet du stress salin (NaCl) sur la hauteur de la plante, la surface foliaire, le poids sec de la partie aérienne et racinaire, au stade plein tallage. Il apparaît nettement que le sel induit une réduction sur les différents paramètres morphologiques, mais cette diminution reste corrélée avec la concentration en sel, et le génotype en question.

La réponse immédiate de la plante au stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente (**Wanget Nil, 2000**). Les fortes doses de sel exercent un effet dépressif sur la croissance. La surface foliaire a été significativement réduite avec l'augmentation de la salinité. Cette sensibilité foliaire s'accroît avec l'augmentation des concentrations du NaCl dans la solution d'arrosage. En effet l'augmentation de la teneur en NaCl entraîne une diminution de l'hydratation des tissus (**Hamrouni et al., 2008**). L'intensification du traitement salin s'accompagne d'une diminution du niveau d'hydratation qui reste toutefois tolérable(**Kara et brinis, 2012**).

**Brügnoli et Björkman (1992)** montrent que le sel réduit la croissance des parties aériennes par la diminution de l'allocation du carbone pour la croissance foliaire au profit de la croissance racinaire. Par contre d'autres études (**Hajlaoui et al., 2006**) rapportent l'inverse, les racines sont les plus affectées. La réduction de la croissance aérienne observée au niveau des plantules peut aussi s'expliquer par des augmentations des taux de certains régulateurs de croissance, notamment l'acide abscissique et les cytokinines induites par le sel. (**Benmahioul et al., 2009. Kuiper et al, 1990**).L'action de la salinité sur la croissance peut être originaire soit d'un déséquilibre nutritionnel en ions essentiels, soit d'une accumulation excessive des ions toxiques dans la plante (**Munns, 2002**),

Les variétés tolérantes développent un système racinaire qui leur permet de résister au stress salin (**Ben Naceur et al., 2001 ; Radhouane, 2008**). **Munns et Tester (2008)**, signalent que la présence des sels à l'extérieur des racines ont un impact immédiat sur la croissance cellulaire et sur tous les métabolismes associés. **Zaman-Allah et al. (2009)**, ajoutent que les espèces qui maintiennent une croissance racinaire relativement importante sous forte contrainte saline, sont plus tolérantes.

Selon **Kadri et al. (2009)**, une irrigation avec une eau salée provoque une réduction de la matière sèche aérienne. **Ben Ahmed et al. (2008)**, signale que l'action dépressive du sel se manifeste par une réduction de la production de matière sèche des différents organes de la plante. Elle se manifeste également par la réduction de la hauteur des plantes (**Singh et Prasad, 2009**). Selon (**Zhu et al., 2001**), la réduction de croissance des parties aériennes est une capacité adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à un stress abiotique. En effet, le retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles (**Ibn Maaouia-Houimli et al., 2011**).

Selon nos résultats, le stress salin entraînant un retard dans la croissance végétale, se traduisant par une réduction de la hauteur de la plante et une diminution de la surface foliaire accompagnée, chez quelques plantes, des symptômes de stress tels que la chlorose et la nécrose foliaires, allant jusqu'à la mort des feuilles.

## CONCLUSION GENERALE

La plupart des espèces végétales sont sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée, cette sensibilité à la salinité varie d'une espèce à une autre, elle a des effets d'ordre osmotique, toxique ou nutritionnel qui peuvent diminuer la croissance et le développement de la plupart des espèces végétales cultivées en termes de biomasse (matière fraîche et sèche) et de dimensions des organes (feuilles, tiges, racines), alors provoque une baisse de rendement et de la qualité des productions agricoles.

Cette étude expérimentale a été entreprise dans le but d'étudier les différents effets du stress salin sur les paramètres physiologiques, morphologiques et biochimiques également, sur les cinq variétés d'orge étudiées (Rihane, Saida, Barberousse, Fouara et Tichedrette), les résultats obtenus nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

Dans l'essai de germination, les résultats ont montré que l'effet de la salinité sur les paramètres germinatifs s'est manifestée par une réduction d'autant plus importante que la dose de sel augmente, la dose la plus affectant la germination c'est la concentration la plus forte (250 mM), la variété la plus résistante durant ce stade est la variété Barberousse

On a trouvé aussi, dans cette étude, que la réponse de l'orge vis-à-vis de la salinité est variée selon la variété et l'intensité du stress, d'un autre côté on a observé qu'une variété peut apparaître tolérante pour un paramètre et sensible pour un autre, à titre d'exemple, un génotype apparaît résistant au stade de germination n'est pas nécessaire être résistant au stade de tallage, pour cette raison on peut conclure que la résistance à la salinité est liée à la capacité d'une variété d'adopter différentes stratégies, le paramètre qui tranche c'est la biomasse aérienne.

L'effet du sel est traduit à l'échelle cellulaire par des modifications physiologiques et biochimiques, de ces variétés d'orge, ainsi la salinité a provoqué une diminution de teneur en eau proportionnelle à l'importance de la contrainte saline pour les cinq variétés, cependant cette baisse n'est pas très importante, toutes les variétés montrent ainsi une certaine capacité à maintenir une teneur en eau plus ou moins stable.

Pour contrecarrer la diminution de la teneur en eau, les plantes synthétisent des solutés organiques compatibles qui ont la capacité d'augmenter la pression osmotique interne, les variétés réagissent par une augmentation de la teneur en sucre soluble par exemple, ceci pourrait être attribué aux changements de l'état hydrique des feuilles ainsi qu'à la forte réduction de la surface foliaire et de la teneur en pigments photosynthétiques, qui provoque une diminution progressive de la teneur en chlorophylle a et b.

Au niveau membranaire, l'effet du sel sur l'intégrité membranaire ne se manifeste qu'à partir des concentrations salines élevées, ces changements dans la perméabilité membranaire dus à l'effet ioniques, en effet, à ces niveaux de salinité supérieurs, le taux de calcium des tissus diminue et le taux de sodium augmente ce qui engendre une fragmentation des membranes qui deviennent plus perméable.

L'influence de la salinité dans le milieu ne se traduit pas, seulement, par une modification physiologique et biochimique, mais aussi par une réduction, d'une façon nette, par la chute de la partie aérienne et la biomasse de la partie racinaire et aérienne.

D'une manière générale on conclue que la résistance et/ou l'adaptation des plantes à la salinité dépendrait de leur capacité à produire dans des conditions défavorables, en leur évitant ou en leur tolérance au stress.

D'après cette étude en marque des points importants à appliquer dans l'agriculture au futur :

- L'introduction d'un plus grand nombre de génotypes d'orges locales dans le travail de sélection.
- L'étude de plus de caractères agronomiques relatifs au développement végétatif et au rendement (Tallage et composantes du rendement), un essai sur terrain serait intéressant.
- Un intérêt particulier à la partie racinaire qui est aussi importante pour la tolérance à la salinité de l'orge que la partie aérienne de par son rôle dans l'absorption des éléments nutritifs nécessaires et la séquestration des éléments toxiques.
- Une étude faisant intervenir d'autres mesures physiologiques, comme le potentiel photosynthétique avec ses paramètres : résistance stomatique et potentiel hydrique foliaire.
- Le dosage d'éléments antioxydants impliqués dans le mécanisme de détoxification tels la catalase, l'ascorbate peroxydase et le superoxyde dismutase.
- Le dosage d'autres solutés aussi importants pour l'osmorégulation que la proline.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Abdelly C., 2006.** Caractérisation des halophytes pour le dessalement des sols salins et le traitement des eaux salines. Rapport d'activités 2007. Centre de biotechnologie à la technopole de Bordj-Cedria, Tunisie, 28- 31 p.
- **Acevedo A., Jose T., Joaquim E. F., Clandivan F., Dasilva V., Pauloh et Eneas ., 2004.** Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. *Braz. J. Plant Physiol.* 16; N°1.
- **Adel J et Bader J., 2002.** Studies of some traits related to salinity tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Proceeding of the International Symposium on optimum resources utilization in salt-affected Ecosystems in arid and semi-arid regions, Cairo, Egypt, 102 p.
- **Alaoui M. M., El Jourmi L., Ouarzane A., Lazar S., El Antri S., Zahouily M., Hmyene A., 2013.** *J. Mater. Environ. Sci.* n° 4 :997 p.
- **Alem C., Idihia F., Amri A. et Filali Maltouf A., 2001.** rôle de la stabilité membranaire foliaire dans la tolérance à la salinité chez L'orge. *Elawamia*, 103: 9-22 p.
- **Anonyme, 2014.** Annuaire statistique de la wilaya de M'sila. ,6.10 p.
- **Antipolis S., 2003.** les menaces sur les soles dans les pays méditerranéens les cahiers du plan Bleu., n°2 : 44 p.
- **Apel K. et Hirt H., 2004.** Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55:373–99 p.
- **Ashraf M., 1994.** Breeding for salinity tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* n°13: 17– 42 p.
- **Asloum H., 1990.** Elaporation d'un Système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicon esulentum* L.) En culture hors sol pour les régions Sahariennes, Utilisation de Substrats Sableuse et d'eaux Saumâtres, thèse de Doctorat, développement et Amélioration des Végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis, 24-32 p.
- **Aubert G., 1982.** les sols sodiques en Afrique du Nord. Cahier O.R.S.T.O.M.service Pédologie. 194 p.
- **Austin R. B., Jones H. G., 1975.** The physiology of wheat (Annual Report), Ed. Plant breeds inst. Cambridge inst., England, 327-355 p.
- **Barrs H., 1968.** Détermination of water deficit in plant tissues. In: Koslowski T, Water Deficit and Plant Growth, Ed. Academy Press. New York. 235-368 p.
- **Bartels D. et Sunkar R., 2005.** Drought and salt tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* n° 24(1) : 2 –58 p.

- **Belin C., 2006.** Structures et fonction de la protéine kinase OST1 dans la cellule de garde d'*Arabidopsis thaliana*, thèse doctorat en Biologie et écologie végétale, Université Paris-sud U.F.R. scientifique d'Orsay. 8-9 p.
- **Ben Ahmed H., Arafet M. et Zid E., 2008.** Tolérance à la salinité d'une Poaceae à cycle court : la sétaire (*Setaria verticillata* L.). C.R. Biologies, n° 331:164-170 p.
- **Ben Hebireche N. et Djafour H., 2011.** effet de stress salin sur l'accumulation de la Chlorophylle chez le blé dur, 9 p.
- **Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Meddahi M. L., et Selmi M., 2001.** Effet du stress salin sur la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. Sécheresse, vol. 12, 167-174 p.
- **Benidire L., Daoui K., Fatemi Z. A., Achouak W., Bouarab L., Oufdou K., 2015.** Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba* L., J. Mater. Environ. n° 6 :850 p.
- **Benmahioul B., Daguin F., Kaid-Harche M., 2009.** Effet des stress sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.), C. R. Biologies, n° 332: 752-758 p.
- **Bliss R. D., Platt-Aloria K. A. et Thomson W. W., 1986.** Osmotic sensitivity in relation to sensitivity in germination barley seeds. Plant Cell. and Env. n° 9: 721-725 p.
- **Bothmer R. V., Belay T. V., Knupffer H., Sato K., 2003.** Diversity in barley (*Hordeum vulgare*), Ed. Elsevier, Amsterdam, 4-10-13-179-190 p.
- **Botia P., Carvajal M., Cerda A., Martinez V., 1998.** Response of eight *Cucumis melo* cultivars to salinity during germination and early vegetative growth, Agronomie, n°18: 503-513 p.
- **Botineau M., 2010.** Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs, Ed. TEC, paris, 224-227 p.
- **Boursier P., Lynch J., Lauchli A. et Epstein E., 1987.** Chloride partitioning in leaves of salt stressed Sorghum, Maize, Wheat and Barley. Australian Journal of Plant Physiology, n°14: 463-473 p.
- **Brink M., Belay G., 2006.** Ressources végétales de l'Afrique tropicale vol. 1 : Céréales et légumes secs, Ed. PROTA, Pays-Bas, 92-93-94-95-96 p.
- **Brown D. J. et Dupon F. M., 1989.** Lipid composition of plasma membranes prepared from roots of barley (*Hordeum vulgare* L.). Effect of salt. Plant physiology, n° 90: 955-961 p.
- **Brügnoli E. et Björkman O., 1992.** Growth of cotton under continuous salinity stress: influence on allocation pattern, stomatal and non stomatal components of photosynthesis and dissipation of excess light energy. Planta, n° 187 : 1117-1127 p.

- **Chaabane S. et Benreda Z., 1997.** inventaires des sols salés d'Algérie. A .N. R. H. Pédologie. 22 p.
- **Chamekh Z., 2010.** Analyse de la réponse de quelques génotypes de blé dur (*Triticum Turgidum ssp.durum*) a la contraintes saline dans trois gouvernorats du centre de la Tunisie, Master en agronomie et Biotechnologie Végétale, Institut nationale agronomique de Tunisie, 4 p.
- **Cheeseman J. M., 1988.** Mechanisms of salinity tolerance in plants. Plant Physiology 87: 547- chloride and sodium sulphate. Physiologia Plantarum,482-490 p.
- **Cheverry C., 1995.** Plant behaviour in saline environnement. Action eau, n°4 : 49 p.
- **Clément G. et Prat., 1970.** Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème édition, Ed. Baillièrè et Co., Paris, 351-360 p.
- **Clément G. et Prats J., 1971.** Les céréales. Ed. Baillièrè et Co., Paris, 51 p.
- **Clément G., 1981.** Dictionnaire Larousse Agricole, Ed. Librairie Larousse, paris, 1207 p.
- **Davenport R. J., Reid R. J. et Smith F. A., 1997.** Sodium calcium interactions in two wheat species differing in salinity tolerance. Physiol. Plant. n° 99: 323– 327 p.
- **Delane R., Greenway H., Munns R. et Gibbs J., 1982.** Ion concentration and carbohydrate status of elongating leaf tissue of *Hordeum vulgare* growing at high external NaCl. Relationship between solute concentration and Growth. Journal of Experimental Botany, n° 33: 574–583 p.
- **Diédhiou G. J., 2006.** Mechanisms of salts tolerance: Sodium, Chloride, and potassium Momeotasis in two Salinity stress. Dr. Rer. Nat. Faculty of Biology, University of Bielefed, Germany: 98-99 p.
- **D-maps, 2017.** [https://d-maps.com/carte.php?num\\_car=189396&lang=en](https://d-maps.com/carte.php?num_car=189396&lang=en) , page consultée le 17/06/2017.
- **Doré C., Varoquaux F., 2006.** Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées, Ed. INRA, 497 p.
- **Dubos C., 2001.** Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat en biologie Forestière, Université Henri Poincaré, Nancy I, 54-55 p.  
Ed.Gauthiervillars, Vol 18: 69-81.
- **El midaoui M., 1999.** Response of sunflower (*Helianthus annuuus L.*) to nitrogen and potassium deficiency. Helia. Vol. 22, n°30, 139-148 p.
- **Eleuch L., Slim A. H. et Daaloul A., 2004.** comportement variétal de deux génotypes d'orge d'origine maghrébine cultivée sur milieu salin. Revue des Régions Arides, n° spécial. 200-209 p.
- **Elferiha S., 2010.** Influence de la salinité sur la formation des nodosités chez la fève (*vicia faba L.*), Thèse magister écophysioogie végétale, Université D'Oran Es sein, 5 p.

- **Eliard J. L., 1979.** Manuel d'agriculture générale, Ed. J. B. Baillière, Paris, 344 p.
- **Eynard A., Lala R., Keith D. W., 2006.** In Encyclopedia of Soil Science, (C. R. C Press.), n° 323 :1538 p.
- **Faghire M., 2012 .** Rôle des microorganismes Symbiotiques (cas des rhizobia) dans l'amélioration de la production agricole de Phaseolus Vulgarise Sous Stress Salin. Thèse Doctorat, Université Cadi Ayyad (Marrakech), Maroc, 11 p.
- **Farissi M., Aziz, Bouizaren A., Ghoulam C., 2014.** la symbiose légumineuse – rhizobia sous Conditions de salinité: aspect agro-physiologique et Biologique de tolérance, Innovative space of scientific research journal, vol 11,99 p.
- **Félix H .J., 1962.** les graminées d'Afrique tropicale vol.1: généralités, classification description des genres, Ed., I. R. A. T., paris, 3 p.
- **Flowers T. J., Hajibagheri M. A. et Yeo A. R., 1991.** Ion accumulation in the cells walls of rice plants growing under saline conditions: evidence for the Oertli hypothesis. Plant, Cell. And Environment, n° 14, 319–32 p.
- **François J., Gaudry M., 2016.** Les végétaux, un nouveau pétrole ?, Ed. Quae, paris, 129 p.
- **Fricke W., Akhiyarova G., Wei W., Alexandersson E., Miller A. et al., 2006.** The short term growth response to salt of the developing barley leaf. J. Exp. Bot. n° 57: 1079–95 p.
- **Fricke W., Akhiyarova G., Veselov D. et Kudoyarova G., 2004.** Rapid and tissue-specific changes in ABA and in growth rate response to salinity in barley leaves. J. Exp. Bot, n°55: 1115–23 p.
- **Gal T., Shahal A., Uzi K. et Ewald S., 2004.** Influence of nitrate and sodium chloride on concentration and internal distribution of mineral elements in broad bean (*Vicia faba L.*) and chickpea (*Cicer arietinum L.*).Landbauforschung Völkenrode, n°4, 54: 189-197 p.
- **Gallouz M., 2002.** Effet du sel sur l'ultra structure chloroplastique de la luzerne. Communication présentée au workchop du 7 Novembre 2002 à l'INRA.
- **Gate P., 1995.** Ecophysiologie du blé, Ed. I. T. C. F. Technique et Documentation, Lavoisier, Paris, 419 p.
- **Ghassmi F., Jakeman A. J. et Nix H. A., 1995.** Salinisation of land and water resources : human causes, extent, management and case Studies .Walling ford, Oxon, U. K : 89-90 p.
- **Gill P. K., Sharma A. D., Singh P., Bhullar S. S., 2003.** Changes in germination, growth and soluble sugar contents of *Sorghum bicolor L.* Moench seeds under various abiotic stresses, Plant Growth Regulation, n°40 (2): 157-162 p.

- **Gilmour S. J., Sebolt A. M., Salazar M. P., Everard J. D., Thomashow M. F., 2000.** Over expression of the Arabidopsis CBF3 transcriptional activator mimics multiple biochemical changes associated with cold acclimation. *Plant Physiol.* n°124(4): 1854–1865 p.
- **Gleim M., Smith F. A., 1993.** Gas exchange and chlorophyll content of “Trifblue” rabbitey and “Sharp blue” southern highbush. Blueberry exposed to salinity and supplemental calcium. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* n°: 749-756 p.
- **Greenway H. et Munns R., 1980.** Mechanisms of salt tolerance in non halophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, n° 31: 149-190 p.
- **Grennan A. K., 2006.** High Impact Abiotique stress in Ric. An « Omic » Approach, *Plant Physiologique*, April 2006, Vol.104, 1139-1141 p.
- **Grime J. P., 1979.** Whole-plant réponses to stress in Natural and agricultural system. *Plant Under stress*, New-York, Cambridge Université presse, 31 p.
- **Guerrier G., 1984.** Relation entre la tolérance ou la sensibilité à la salinité lors de la germination des semences et composants de la nutrition en sodium. *Biologia Plantarum (P. R. A. H. A.)*, n°26: 23-25 p.
- **Guoping zhang, 2009.** genetic and improvement of barley malt quality, Ed. Springer, Verlag Berlin Heidelberg, 1-63 p.
- **Hajlaoui H., Denden M. et Bouslama M., 2007.** Etude de la variabilité intra spécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum L.*) au stade germination. *TROPICULTURA*, 25,3, 168-173 p.
- **Hajlaoui H., Denden M., et Bouslama M., 2006.** Effet du chlorure de sodium sur les critères morpho-physiologiques et productifs du pois chiche (*Cicer arietinum L.*). *Ann. INRGREF*, n° 8: 171-187 p.
- **Hakam N., Khnisadeh S., Dell J. R., Richer C., 2000.** Assessing chilling tolerance in Roses using chlorophyll fluorescence. *Hort. Science.* n° 35. (2): 184-186 p.
- **Halitime A., 1988.** Sols des régions d’Algérie. O. P. O. Alger, 384 p.
- **Hammou B., 2010.** Recherche de marqueur génétique liés à la tolérance a la salinité chez des écotypes d’espèces annuelles de médicago. Thèse magister amélioration des plantes, Université d’Oran Essenia, 21 p.
- **Hamrouni L., Ben Abdallah F., Abdely C., Ghorbel A., 2008.** La culture in vitro : un moyen rapide et efficace pour sélectionner des génotypes de vigne tolérant la salinité, *Comptes Rendus Biologies*, vol. 331, n° : 152-16 p.
- **Hamza M., 1982.** Réponses des végétaux à la salinité. *Revue Physio.Végétale*.

- **Hassani A., Dellal A., Belkhodja M. et Kaid-Harche M. 2008.** Effet de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum Vulgare L.*). European Journal of Scientific Research, 23(1): 61-69 p.
- **Hikosaka K., Ishikawa K., Borjigidai A., Muller O. et Onoda Y. 2006.** Temperature acclimation of photosynthesis: Mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rates. J. Exp. Bot. n° 57: 291–302 p.
- **Hillel d., 2000.** Salinity Management for Sustainable Irrigation. The World Bank, Washington, D. C.
- **Hoekstra F. A., Golovina E. A., et Buitink J., 2001.** Mechanisms of plant desiccation tolerance. Trends Plant Sci. n° 6(9): 431–438 p.
- **Hopkins W. G. et Évrard C. M., 2003.** Physiologie végétale. De Boeck Supérieur, Bruxelles, Belgique. 532 p.
- **Horne F. R., Kahn A., 2000.** Water loss and viability in zizania(Poaceae) seeds during short-term desiccation, Ed. Am. J. Bot. 87, 1707-1711 p.
- **Huang Y., Zhang G., Wu F., Chen J. et Zhou M., 2006.** Differences in physiological traits among salt-stressed barley genotypes. Communication in soil science and plant analysis, n° 37: 557-570 p.
- **Ibn Maaouia-Houimli S., Denden M., Dridi-Mouhandes B., Ben Mansour-Gueddes S., 2011.** 24-Epibrassinolide ameliorates the adverse effect of salt stress (NaCl) on pepper (*Capsicum annuum L.*). Vol. 8, n° 12012 : 75 p.
- **Ines J., Yosra S. et Mohamed E. G., 2014.** Effects of salt stress on growth seedlings of two landrace varieties of durum wheat from the Tunisian centre (*Triticum durum*). African Journal of Agricultural Research, n° 9(33) : 2528-2539 p.
- **Jacob-Wilk D., Holland D., Goldschmidt E. E., Riov J., et Eyal Y., 1999.** Chlorophyll breakdown by chlorophyllase: isolation and functional expression of the Chlase 1 gene from ethylene-treated Citrus fruit and its regulation during development. Plant Journal. n° 20, 653-661p.
- **Jendoubi S., 1997.** Contribution à la caractérisation physiologique et biochimique de parois racinaires chez 2 espèces de blé : *Triticum durum* (Ben Béchir) et *Triticum aestivum* (Tanit) cultivées en milieu salin. Tunis : DEA de la Faculté des Sciences de Tunis, 86 p.
- **Jia W., Wang H., Zhang CH., Zhang J., (2002).** Salt-stress-induced ABA accumulation is more sensitively triggered in roots than in shoots. J Exp Bot, n° 53: 2201-2206 p.
- **Jones A. G. et Jones M. B., 1989.** Introduction: Some term in ology common mechanism. In: Jones. A. G. Flowers, Jones M. B. (eds), plant under stress. Cambridge: cambridge University press, 1-10 p.

- **Kadri K., Maalam S., Cheikh M.H., Benabdallah A., Rahmoune C. et Ben Naceur M., 2009.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques accessions Tunisiennes d'orge (*Hordeum vulgare L.*). Science and Technologie n°29 : 72-79.
- **Kara K., Brinis L., 2012.** Réponse Physiologique au Stress Hydrique de Variétés de Blé Tendre (*Triticum Aestivum L.*) Cultivées en Algérie, European Journal of Scientific Research, vol. 81, n°4 : 524-532 p.
- **Karmous C., 2007.** Contribution à l'étude des mécanismes de tolérance à la salinité au stade juvénile chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*): aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Thèse de doctorat en agronomie et science de la production végétale. INAT, Tunis: 211p.
- **Khosravinejad F., Heydari R. et Farboodnia T., 2008.** Effects of salinity on photosynthetic pigments, respiration and water content in two barley varieties. Pakistan Journal of Biological Science, 11(20): 2438-2442 p.
- **Kuiper D., Schuit J., kuiper P. J. C., 1990.** Actual cytokinin concentrations in plant tissue as an indicator for salt resistance in cereals, plant soil. n°123: 243-250 p.
- **Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P., Casse-Delbart F., 1995.** Les plantes face au stress salin. Cah. Agric. n° 4, p. 263–266 p.
- **Levitt J., 1980.** Responses of plant to environmental stresses .Vol. II, Water, radiation, Salt and other stresses. Levitt J, Ed. Academic Press. NewYork, 606 p.
- **M'rah S., Ourghi Z., Brthomieu C., Havaux M., Jungas C., Hajji M., Grignon C., et Lachaal M., 2005.** Effect of NaCl on growth, ion accumulation and photosynthetic parameters of *The lungiella halophila*. Journal of Plant Physiology, in press.
- **Maas E. V. et Poss J. A., 1989.** Salt sensitivity of wheat at different growth stages. Irrig. Sci. n°10 : 30-38 p.
- **Maas E.V., 1986.** Salt tolerance of plants. Applied Agricultural Research, n° 1, 12-26 p.
- **Maillard J., 2001.** le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zones salésienne, risques et recommandation, Handicap. 34 p.
- **Mallek E., 2001.** Influence de la salinité sur certains aspects physiologiques et métaboliques de La tolérance au sel de tomates sensibles les et résistantes, thèse de doctorat en UFR de Biologie. Paris : Science de la Nature, 70 p.
- **Manchanda G., Garg N., 2008.** Salinity and its effects on the functional biology of legumes. Acta Physiol. Plant, n°30: 595 p.
- **Maniguet M., 2003.** les pays secs environnement et développement. Ellipse Edition Marketing. Paris. Thèse magister en science agronomique, Université de EL Hadj lakdar-Batna, Alger, 11 p.

- **Mansour M. M. F., Lee-Stadelmann O. Y. et Stadelmann E. J., 1993.** Salinity stress and cytoplasmic factors. A comparison of cell permeability and lipid partiality in salt sensitive and salt resistant cultivars and lines of *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare*. *Physiologia Plantarum*, n° 88, 141–148 p.
- **Mansour M. M. F., 1997.** Cell permeability under salt stress. In: Jaiwal, P. K., Singh, R. P., Gulati, A. (Eds.), *Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants*. Oxford and IBH, New Delhi, 87–110 p.
- **Mansour M. M. F., et Stadelmann E. J., 1994.** NaCl-induced changes in protoplasmic characteristics of *Hordeum vulgare* cultivars differing in salt tolerance. *Physiologia Plantarum*, 91: 389–394 p.
- **Mazoyer M., 2002.** Larousse agricole, 4eme édition, Ed. Larousse, Paris, 110-349 p.
- **Mermoud A., 2006.** Cours de physique du sol: maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.
- **Morales F., Abadia A., Gomez-Aparisi J. et Abadia J., 1992.** Effects of combine d'NaCl and CaCl<sub>2</sub> salinity on photosynthetic parameters of barley grown in nutrient solution. *Physiologia Plantarum*, n° 86: 419-426 p.
- **Moule C., 1971.** Phytotechnie spéciale Tome 2 : Céréales, Ed. la maison rustique, Paris, 14-15-16-17-18 p.
- **Mukund J., 2015.** Textbook of field Crops, Ed. PHI Learning pvt. LTD, Dehli, 2-69-278 p.
- **Munns R. et Mermoud A., 2006.** Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 23p.
- **Munns R. et Tester D., 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 2008. 59: 651–81 p.
- **Munns R. et Rawson H. M., 1999.** Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*, 26: 459-464 p.
- **Munns R., 1993.** Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell. and Environment*, 15-24 p.
- **Munns R., 2011.** Plant Adaptations to Salt and Water Stress: Differences and Commonalities. *Advances in Botanical Research*, n°57: 1-32 p.
- **Munns R., Hare R. A., James R. A. et Rebetzke G. J. 2000.** Genetic variation for improving the salt tolerance of durum wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51,69–74 p.
- **Munns R., Schachtman D. P., Condon A. G., 1995.** “The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley”. *Aust. J., Plant Physiol.*, n° 22: 561-9 p.

- **Munns R., Termaat A., 1986.** Whole-plant responses to salinity. Australian Journal of Plant Physiology 13: 143-160 p.
- **Munns. R., 2002.** Comparative physiology of salt and water stress, Plant, Cell. and Environment n° 25 : 239–250 p.
- **Munns. R., Richard A. J., Lauchli A., 2006.** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany, Vol. 57, n° 5, 1025–1043 p.
- **Naceur M. B., Rahmoune C., Sdiri H., Meddahi M. L., Selmi M., 2001.** Planétaires / Sécheresse. Sci., Chang., n°12: 167 p.
- **Niu X. et al., 1995.** Ion homeostasis in NaCl stress environments. Plant physiology, 735-742 p.
- **Noomene H., 2011.** Etude la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigué de kalacat landelous en Tunisie: cas d'une parcelle de courge, Master de recherche environnement aménagement, faculté de lettres, 22 p.
- **Nyabyenda P., 2005.** Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique vol.1, Ed. CTA, Pays-Bas, 190 p.
- **ONFAA, janvier 2015.** Bilan de la campagne céréalière 2014/2015, 2-5 p.
- **Paquereau J., 2016.** Au jardin des plantes de la Bible: botanique, symboles et usages, Ed. Forêt privée française, paris, 158 p.
- **Parida A. K. et DAS A. B., 2005.** Salt tolerance and salinity effects on plants: A. Rev. Ecotoxicol. environ. Safety, 60:324-349 p.
- **Phillips J. R., Oliver M. J., et Bartels D., 2002.** Molecular genetics of desiccation and tolerant systems. Dans Desiccation and survival in plants: Drying without dying, Ed. CAB International, Mol. Gen. Genet., 319–341 p.
- **Prado F. E., Boero C., Gallardo M. et Gonzalez J. A., 2000.** Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds. Botanical Bulletin of Academia Sinica, n°41: 27-34 p.
- **Radhouane L., 2008.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains chez quelques écotypes de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), autochtones de Tunisie. Comptes Rendus Biologies, n°331(4) : 278-286 p.
- **Reddy S. M., Madhusundna Rao. M., Reddy A. S., Reddy M. M. et Charry S. J., 2004.** University Botany- III : (Plant Taxonomy, Plant Embryology, Plant Physiology) vol. 3, Ed. new age international limeted publishers, new Dehli, 18-38-135-137 p.
- **Renvoize S. A., Clayton W. D., 1986.** genera graminum: grasses of the world, Ed. HMSO, 79 p.

- **Roeder, V., 2006.** Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *Laminaria Digitata*. Thèse de doctorat, Université Rennes 1.
- **Roederer P., 1964.** Note sur les sols halomorphes, ORSTOM, France, 1-10 p.
- **Rontein D., Basset G., et Hanson A.D., 2002.** Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. *Metab. Eng.* 4: 49–56.
- **Secretariat d'état Charge de l'eau et de l'environnement, 2000-2001.** Etat de la qualité des ressources en eau au Maroc.
- **Sentena C H et Berthomieu P. ,2003.** Découverte d'un nouveau mécanisme de tolérance des plantes au sel. UMR Biochimie et physiologie moléculaire des plantes (Unité mixte Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier, Service Presse INRA, 34 p.
- **Sgherri C. L. M., Pinzino C. et Navari-Izzo F., 1993.** Chemical changes and O<sub>2</sub> production in thylakoid membranes under water stress. *Physiologia Plantarum.* 87: 211–216 p.
- **Shafqat F. et Farooq A., 2006.** the use of cell membrane stability (CMS) technique to screen salt tolerant wheat varieties. *Journal of plant physiology.* 163: 629-637 p.
- **Singh A. et Prasad R., 2009.** Salt stress growth and cell bound enzymes in *Archis hypogea L.* seedling, *I. J. I. B., n° 7(2):* 107-123 p.
- **Slafer G. A., 1993.** Genetic Improvement of Field Crops, Ed. marcel dekker, new York, 7-114-116 p.
- **Smirnoff N., 1995.** Antioxidant systems and plant responses to the environment. In: Smirnoff, ed. Environment and plant metabolism. Flexibility and acclimation. Oxford: Bios Scientific Publishers, 217-243 p.
- **Snoussi S. A et Halitim A., 1998.** Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Etude et gestion des sols, 289- 298 p.
- **Soderstrom T. R., 1987.** Grass Systematics and Evolution, Ed. Smithsonian Institution Press, washington, 69-204 p.
- **Soltner D., 1988.** Les grandes productions végétales, 16ème éditions, Ed. Les collections sciences et techniques agricoles, 464 p.
- **Soltner D., 1990.** Les grandes productions végétales. Céréales, plantes sarclées, prairies, Ed. Sciences et Technique Agricoles.
- **Spollen W. G., LeNoble M. E., T.D. S, Bernstein N., Sharp R. E., (2000).** Abscisic acid accumulation maintains maize primary root elongation at low water potentials by restricting ethylen production. *Plant Physiol,* n° 122: 967-976 p.
- **Srivastava V. C., Gopal L., 2008.** History of Agriculture in India, Up to C. 1200 A. D., Ed. concept publishing company, new Dehli, 2-120 p.

- **Streeter J. G., Lohnes D. G., et Fioritto, R. J. 2001.** Pattern of pinitol accumulation in soybean plants and relationships to drought tolerance. *Plant Cell Environ.* n°24(4) : 429–438 p.
- **Tahri E. H., Belabed A. M. et sadki K.,1998.** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*triticum durum*). Université Mohamed premier, Maroc, Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, 2 :81-87 p.
- **Taji T., Ohsumi C., Iuchi S., Seki M., Kasuga M., Kobayashi M., Yamaguchi-Shinozaki K., et Shinozaki K., 2002.** Important roles of drought- and cold inducible genes for galactinol synthase in stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Plant J.* n° 29(4) : 417–426 p.
- **Takarli S., 2002.** Répons du haricot *phaseolus vulgaris* variété contentier a la contrainte hydrique d'origine saline. Effet du Na cl sur la croissance et nutrition minérale, thèse Magister science de sol, Institut National Agronomique, EL Harrach, Alger, 5 p.
- **Thielens A., 1862.** flore médicale belge, Ed. A. Lacroix verboeckhoven, paris, 135 p.
- **Touraine B. et Ammar M., 1985.** Etude comparée de la sensibilité au sel d'un triticale et d'une orge. *Agronomie*, n°5(5): 391-395 p.
- **Ullrich S. E., 2010.** Barley: Production, Improvement, and Uses, Ed. willey-blackwell, U. S. A. ,2-3-12-15-17-253-411 p.
- **Verslues P .E., Agarwal M., Katiyar-Agarwal S., Zhu J. et Zhu J. K., 2006.** Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal* 45: 523-539 p.
- **Wang Y., Nil N., 2000.** Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress, *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, n° 75: 623–627 p.
- **Wiebe B. H., Eilers R. G., Eilers W. D., Brierley J. A., 2001.** Risque de salinisation du sol, l'agriculteur écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux .Rapport n°2 : 121 p.
- **Williams, 1987.** Salinisation of rivers and streams : An important environmental hazard. *Ambio.*, 16 :182 p.
- **Wolter R., 1999.** Alimentation du cheval, Ed. France agricole, France, 243 p.
- **Wu Y, Spollen WG., Sharp RE., Hetherington PR., Fry SC., (1994).** Root growth maintenance at low water potentials increased activity of xyloglucan endotransglycosylase and it's possible regulation by abscisicacid. *Plant Physiol*, n°106: 607- 615 p.

- **Wyn Jones R. G. et Storey R., 1978.** salt stress and comparative physiology in the Gramineae. II. Glycine betaine and proline accumulation in two salt and water stressed barley cultivars. Australian Journal of Plant Physiology, n°5: 817-829 p.
- **Yeo A. R.,(1983).** salinity résistance :physiologies and prices. Physiologia plantarum 58 :214-222 p.
- **Yeo AR., TJ. Flowers. 1983.** Varietal differences in the toxicity of sodium ions in riceleaves. *Physiol. Plant.* 59: 189-195 p.
- **Zaman-Allah M., Sifi B., L'Taief B. et El Aouni M. 2009.** Paramètres agronomiques liés à la tolérance au sel chez le haricot (*Phaseolus vulgaris L.*). Biotechnol. Agron. Soc. Environ., n°13(1) : 113-119 p.
- **Zhu J.K., 2001.** Plant salt tolerance. Trends Plant Sci., n° 6 : 66-67 p.
- **Zid E., Grignon C., 1986.** Effets comparés de NaCl, KCL et Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sur la croissance et la nutrition minérale de jeunes *Citrus auriantinum L.* Acta Ecol.

## I. Analyse des résultants réalisés au laboratoire

### Annexe 1: Taux de germination

#### 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	7356,667	4	1839,167	20,064	,000
Traitement	5720,000	3	1906,667	20,800	,000
Var * Trait	1230,000	12	102,500	1,118	,000
Erreur	3666,667	40	91,667		
Total	428000,000	60			

#### 2. Test de Tukey au seuil de 5%

##### A. Facteur variété

Variétés	N	Sous-ensemble	
		B	A
V5	12	60,8333	
V1	12		85,00
V4	12		87,50
V2	12		90,00
V3	12		90,00

##### B. Facteur traitement

Traitements	N	Sous-ensemble	
		B	A
T3	15	66,0000	
T2	15		86,0000
T1	15		88,0000
T0	15		90,6667

### Annexe 2: Indice de germination

#### Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	102,061	4	25,515	27,800	,000
Traitement	157,440	3	52,480	57,179	,000
Var * Trait	31,140	12	2,595	2,827	,007
Erreur	36,712	40	,918		
Total	2787,898	60			

## 2. Test de Tukey au seuil de 5%

### A. Facteur variété

Variétés	N	Sous-ensemble		
		C	B	A
V5	12	3,91		
V4	12		6,49	
V1	12		6,91	6,91
V2	12		6,98	6,98
V3	12			7,70

### B. Facteur traitement

Traitements	N	Sous-ensemble		
		C	b	a
T3	15	3,8527		
T2	15		6,2640	
T1	15			7,3327
T0	15			8,1660

## Annexe 3: Longueur du coléoptile

### 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	20,183	4	5,046	31,249	,000
Traitement	144,238	3	48,079	297,766	,000
Var * Trait	25,215	12	2,101	13,014	,000
Erreur	6,459	40	,161		
Total	678,952	60			

## 2. Test de Tukey au seuil de 5%

### A. Facteur variété

Variétés	N	Sous-ensemble		
		C	B	A
V1	12	2,0717		
V2	12	2,3867	2,3867	
V3	12		2,7292	
V4	12			3,4392
V5	12			3,5575

## B. Facteur traitement

Traitements	N	Sous-ensemble		
		C	b	a
T3	15	,3613		
T2	15		2,6880	
T1	15			4,0440
T0	15			4,2540

## Annexe 4: Longueur de racine

## 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	9,936	4	2,484	2,316	,074
Traitement	1464,920	3	488,307	455,310	,000
Var * Trait	22,871	12	1,906	1,777	,086
Erreur	42,899	40	1,072		
Total	4928,914	60			

## 2. Test de Tukey au seuil de 5%

## B. Facteur traitement

Traitements	N	Sous-ensemble			
		1	2	3	4
T3	15	1,4523			
T2	15		3,9733		
T1	15			11,2560	
T0	15				13,3773

## Annexe 5: Teneur relative en eau

## 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	6913,034	4	1728,259	57,601	,000
Traitement	4507,250	3	1502,417	50,074	,000
Bloc	264,592	2	132,296	4,409	,014
Var * Trait	2557,072	12	213,089	7,102	,000
Var * Bloc	905,813	8	113,227	3,774	,001
Trait * Bloc	728,113	6	121,352	4,045	,001
Erreur	3600,490	120	30,004		
Total	1316663,175	180			

## 2. Test de Tukey au seuil de 5%

### A. Facteur variété

Variétés	N	Sous-ensemble		
		C	B	A
V4	36	79,1808		
V2	36	79,8789		
V1	36	81,0967		
V3	36		88,9136	
V5	36			95,0764

### B. Facteur traitement

Traitements	N	Sous-ensemble		
		C	b	a
T3	45	79,0984		
T2	45	80,9329		
T1	45		87,9407	
T0	45			91,3451

## Annexe 6 : Taux de déperdition de l'eau par la feuille excisée

- A la 1<sup>ère</sup> heure

### 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	5,548E-007	4	1,387E-007	7,236	,000
Traitement	9,623E-008	3	3,208E-008	1,673	,176
Bloc	2,211E-008	2	1,106E-008	,577	,563
Var * Trait	3,132E-007	12	2,610E-008	1,362	,194
Var * Bloc	1,784E-007	8	2,230E-008	1,163	,327
Trait * Bloc	1,922E-007	6	3,203E-008	1,671	,134
Erreur	2,300E-006	120	1,917E-008		
Total	1,802E-005	180			

## 2. Test de Tukey au seuil de 5%

### A. Facteur variété

Variétés	N	Sous-ensemble	
		B	A
V5	36	,00016153	
V3	36		,00026839
V4	36		,00029163
V2	36		,00030579
V1	36		,00031369

- A la 2ème heure

### 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	2,183E-007	4	5,458E-008	2,731	,032
Traitement	1,015E-007	3	3,383E-008	1,692	,172
Bloc	9,952E-008	2	4,976E-008	2,489	,087
Var * Trait	1,449E-007	12	1,207E-008	,604	,835
Var * Bloc	2,178E-007	8	2,723E-008	1,362	,220
Trait * Bloc	6,374E-008	6	1,062E-008	,532	,783
Erreur	2,399E-006	120	1,999E-008		
Total	1,238E-005	180			

## Annexe 7: Intégrité membranaire

### 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	1,040	4	,260	28,792	,000
Traitement	,161	3	,054	5,931	,002
Var * Trait	,189	12	,016	1,740	,094
Erreur	,361	40	,009		
Total	5,628	60			

## 2. Test de Tukey au seuil de 5%

### A. Facteur variété

Variétés	N	Sous-ensemble			
		D	C	B	A
V5	12	,0958			
V4	12	,1604	,1604		
V2	12		,2347	,2347	
V3	12			,3022	
V1	12				,4780

### B. Facteur traitement

Traitements	N	Sous-ensemble	
		B	a
T3	15	,1676	
T0	15		,2652
T2	15		,2817
T1	15		,3025

## Annexe 8: Teneur en chlorophylle a

### 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	150,866	4	37,717	17,325	,000
Traitement	97,312	3	32,437	14,900	,000
Var * Trait	43,611	12	3,634	1,669	,111
Erreur	87,080	40	2,177		
Total	2557,449	60			

## 2. Test de Tukey au seuil de 5%

### A. Facteur variété

Variétés	N	Sous-ensemble	
		B	A
V3	12	4,44708	
V1	12	4,79000	
V5	12	5,85350	
V2	12	6,09375	
V4	12		8,94442

## B. Facteur traitement

Traitements	N	Sous-ensemble	
		B	a
T3	15	4,46127	
T2	15	5,09047	
T1	15		7,13300
T0	15		7,41827

## Annexe 9 : Teneur en chlorophylle b

## 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	31,934	4	7,983	3,908	,009
Traitement	14,762	3	4,921	2,408	,081
Var * Trait	15,697	12	1,308	,640	,795
Erreur	81,720	40	2,043		
Total	899,865	60			

## 2. Test de Tukey au seuil de 5%

## A. Facteur variété

Variétés	N	Sous-ensemble	
		B	A
V5	12	2,58825	
V1	12	3,09442	
V3	12	3,52833	3,52833
V2	12	3,76742	3,76742
V4	12		4,76692

## Annexe 10 : Teneur en chlorophylle totale

## 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	286,706	4	71,676	12,238	,000
Traitement	174,730	3	58,243	9,945	,000
Var * Trait	41,077	12	3,423	,584	,841
Erreur	234,268	40	5,857		
Total	6237,408	60			

## 2. Test de Tukey au seuil de 5%

### A. Facteur variété

Variétés	N	Sous-ensemble	
		B	A
V1	12	7,88442	
V3	12	7,97542	
V5	12	8,44175	
V2	12	9,86117	
V4	12		13,71133

### B. Facteur concentration

Traitements	N	Sous-ensemble		
		C	B	a
T3	15	7,22233		
T2	15	8,72947	8,72947	
T1	15		10,79507	10,79507
T0	15			11,55240

## Annexe 11: Teneur en sucres solubles

### 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	,320	4	,080	6,325	,000
Traitement	,941	3	,314	24,814	,000
Var * Trait	,482	12	,040	3,177	,003
Erreur	,506	40	,013		
Total	5,374	60			

## 2. Test de Tukey au seuil de 5

### A. Facteur variété

Variétés	N	Sous-ensemble	
		B	A
V2	12	,149717	
V5	12	,187500	
V1	12	,196333	
V3	12	,247300	,247300
V4	12		,360308

## B. Facteur concentration

Traitements	N	Sous-ensemble	
		B	a
T0	15	,093193	
T1	15	,117113	
T2	15		,320933
T3	15		,381687

## Annexe 12: Longueur de la partie aérienne

## 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	716,370	4	179,093	66,151	,000
Traitement	104,000	3	34,667	12,805	,000
Var * Trait	46,136	12	3,845	1,420	,197
Erreur	108,293	40	2,707		
Total	20487,948	60			

## 2. Test de Tukey au seuil de 5%

## A. Facteur variété

Variétés	N	Sous-ensemble	
		B	A
V3	12	13,1042	
V5	12	14,6417	
V1	12		20,4146
V4	12		20,4692
V2	12		21,5396

## B. Facteur traitement

Traitements	N	Sous-ensemble		
		C	B	a
T3	15	16,2667		
T2	15	17,4603	17,4603	
T1	15		18,5950	18,5950
T0	15			19,8133

## Annexe 13 : Surface foliaire

### 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	70127,545	4	17531,886	545,583	,000
Traitement	3573,263	3	1191,088	37,066	,000
Bloc	15,536	2	7,768	,242	,786
Var * Trait	1138,720	12	94,893	2,953	,001
Var * Bloc	251,289	8	31,411	,977	,457
Trait * Bloc	225,277	6	37,546	1,168	,328
Erreur	3856,105	120	32,134		
Total	367787,795	180			

### 2. Test de Tukey au seuil de 5%

A Facteur variété.

Variétés	N	Sous-ensemble			
		D	C	B	A
V1	36	13,6383			
V2	36		18,6019		
V4	36			51,1872	
V5	36				58,1892
V3	36				58,4167

B. Facteur traitement

Traitements	N	Sous-ensemble		
		C	b	a
T3	45	33,1111		
T2	45		40,0596	
T1	45		41,3733	
T0	45			45,4827

## Annexe 14: Poids sec de la partie aérienne

### 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	,013	4	,003	5,351	,002
Traitement	,026	3	,009	14,407	,000
Var * Trait	,008	12	,001	1,042	,432
Erreur	,024	40	,001		
Total	1,048	60			

### 2. Test de Tukey au seuil de 5%

#### A. Facteur variété

Variétés	N	Sous-ensemble		
		C	B	A
V3	12	,1077		
V5	12	,1150	,1150	
V2	12	,1284	,1284	,1284
V4	12		,1409	,1409
V1	12			,1462

#### B. Facteur traitement

Traitements	N	Sous-ensemble		
		C	B	a
T3	15	,0954		
T1	15		,1283	
T2	15		,1333	,1333
T0	15			,1535

## Annexe 15 : Poids sec de la partie racinaire

### 1. Tableau d'analyse de la variance

Source	Somme des carrés des écarts SCE de type III	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Variété	,001	4	,000	7,525	,000
Traitement	,000	3	,000	4,567	,008
Var * Trait	,001	12	8,029E-005	2,398	,019
Erreur	,001	40	3,348E-005		
Total	,026	60			

## 2. Test de Tukey au seuil de 5%

### A. Facteur variété

Variétés	N	Sous-ensemble	
		B	A
V1	12	,0159	
V2	12	,0162	
V4	12	,0174	
V3	12	,0190	
V5	12		,0270

### B. Facteur traitement

Traitements	N	Sous-ensemble	
		b	a
T1	15	,0158	
T0	15	,0184	,0184
T3	15	,0187	,0187
T2	15		,0235

## II. Les méthodes d'analyse des paramètres biochimique

### Annexe 16: Dosage des sucres solubles

#### ✓ *Extraction*

100mg de la matière fraîche sont placés dans un tube à essai, ajouter 3ml d'éthanol à 80 et laisser l'extrait 48h à une température ambiante.

#### ✓ *Préparation du Réactif*

Il est constitué de 0,2g d'anthrone pure dissout dans un 1 litre de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, préparé 4 heures avant le dosage et se garde au fait.

#### ✓ *Préparation la courbe d'étalon*

- Une première solution S1 est préparée de la manière suivant :
- 100mg de glucose sont portés dans une fiole jaugée de 100ml compléter à 100ml avec de l'éthanol 80 c'est la solution S1;
- Ensuite on prélève 10ml de la solution S1 qu'on porte dans une fiole jaugée, compléter à 100ml avec l'éthanol 80, on obtient une solution mère S1 de concentration en glucose égale à 100mg/ml;
- 10 fioles jaugées de capacité 10 ml, sont prises et numérotées de 1 à 10, dans lesquelles on met respectivement de 1ml à 10ml (à l'aide d'une pipette de 10ml) puis ajustées à 10ml avec de l'éthanol 80;
- 11 tubes à essais sont pris et numérotés de T0 à T10

- T0 contient 2ml éthanol 80 que servira à faire le zéro lors de la lecture des densités optique
- T1=2ml prélève de la fiole n°1soit 10 µg de glucose
- T2=2ml prélève de la fiole n°2soit 20µg de glucose
- T3=2ml prélève de la fiole n°3soit 30 µg de glucose
- T4=2ml prélève de la fiole n°4soit 40 µg de glucose
- T5=2ml prélève de la fiole n°5soit 50 µg de glucose
- T6=2ml prélève de la fiole n°6soit 60 µg de glucose
- T7=2ml prélève de la fiole n°7soit 70 µg de glucose
- T8=2ml prélève de la fiole n°8soit 80 µg de glucose
- T9=2ml prélève de la fiole n°9soit 90 µg de glucose
- T10=2ml prélève de la fiole n°10soit 100 µg de glucose

#### ✓ *Dosage*

On allume le bain marie à 92°C

- 2ml d'extrait sont prélevées et mis dans des tubes à essais baignant dans la glace fondante;
- 4ml de réactif est ajoutée dans les tubes (dans les extraits et les étalons);
- Les tubes sont porté au bain- marie pendant 8 minutes à 92°C, une coloration bleu-vert apparait;
- On retrié les tubes pour les placer directement dans la glace fondant afin d'arrêter la réaction ;
- Puis ils sont mis à l'obscurité au froide durant 30 minutes;
- La lecture de la DO se fait à une longueur d'onde de 585nm
  - $Y=Ax+B$
  - Y=Densité optique
  - X=Masse de la matière fraiche
  - Y=Teneur en sucre
  - 180,16=Masse molaire de glucose
  - La teneur en sucre est donnée par la relation suivant :

$$Y=X*3*1000/MF*180,16$$

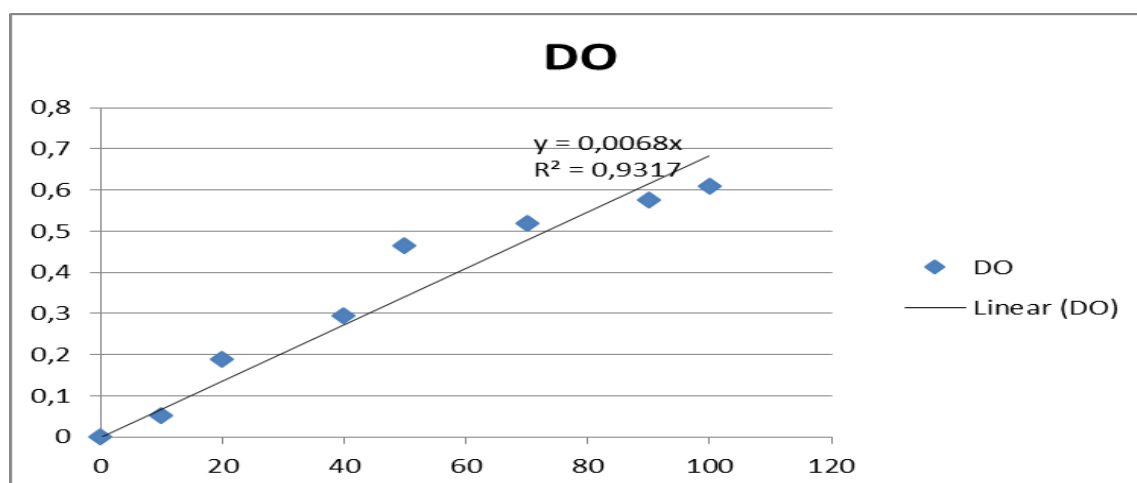


Figure n°1 : Courbe etalon du dosage des sucres totaux

### Annexe 17 : analyse de sol

Cette analyse vis a déterminer les caractéristiques physico-chimique et le taux de salinité de sol dans la quelle l'essai a été installé.

#### Tableau des caractéristiques de sol

Paramètre	Résultat			
pH	8.25			
Humidité	64%			
Conductivité électrique	555 $\mu$ S/cm			
Calcaire totale	53.26%			
Calcaire active	28.53%			
capacité de retention d'eau	8 ml			
Granulométrie	Argile	Argile +limon	sable fin	sable grossier
	0.037g	0.144g	2.91g	0.759g

### Annexe 18 : le taux de germination des graines récupérées

C'est le taux de germination des graines non germées avec les 03 concentrations élevées (75mM, 150mM et 250mM d'NaCl) pendant la 1ere semaines puis est récupérées et semis a nouveau et irriguées avec l'eau distillée.

**Tableau de taux de germination des graines non germées**

Variété	Traitement	Taux de germination(%)
Rihane (V1)	T1	14.28
Rihane (V1)	T2	0
Rihane (V1)	T3	81.82
Saida (V2)	T2	100
Saida (V2)	T2	100
Barberousse (V3)	T1	0
Barberousse (V3)	T2	0
Barberousse (V3)	T3	80
Fouara (V4)	T1	100
Fouara (V4)	T2	33.3
Fouara (V4)	T3	100
Tichedrette (V5)	T1	16.66
Tichedrette (V5 )	T2	45.45
Tichedrette (V5)	T3	55.5

## Résumé

Cette étude a pour objectif de comparer le comportement de cinq variétés de d'orge (*Hordeum vulgare*) cultivées en Algérie (Rihane, Fouara, Barberousse, Tichedrett et Saida) soumises à des conditions de stress salin durant des stades précoces de son développement, au stade germination des grains et au stade plantule. L'essai a permis de mettre en évidence l'influence de quatre concentrations salines, à savoir 0, 75, 150 et 250 mM de NaCl, sur différents paramètres morphologiques et physiologiques. Nos résultats ont montré que le sel a un effet dépressif sur la germination et sur la croissance de la plante, notamment la hauteur de la partie aérienne, la biomasse aérienne et racinaire sèche ainsi que la surface foliaire, une accumulation des sucres solubles est aussi observée chez les plantes stressées par rapport aux témoins. Ces effets sont d'autant plus importants que l'intensité du stress est élevée. Toutefois, la présence d'une différence génotypique a permis de mettre en valeur un certain nombre de mécanismes responsables de la résistance des cinq variétés d'orge en question au stress salin. Ainsi, chaque variété peut être tolérante pour un paramètre et sensible pour un autre paramètre.

## Mots clés

*Hordeum vulgare*, stress salin, NaCl

## ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو المقارنة بين سلوك خمسة اصناف من الشعير (*Hordeum vulgare*) التي تنمو في الجزائر (Tichedrette et Saida, Fouarae, Barberousshane, iR) المزروعة تحت ظروف الاجهاد الملحي خلال المراحل الاولى من التطور مرحلة لانتاش و مرحلة لاشتلات، و قد اظهرت التجربة تأثير التراكيز الاربعة وهي (0، 75، 150، 250 ملم) كلوريد الصوديوم على مختلف الصفات المورفولوجية والفيزيولوجية، كما ان نتائجنا اظهرت ان الملح له تأثير على إنتاش و نمو النبات ولاسيما ارتفاع الجزئ العلوي، الكتلة الحيوية الجافة، مساحة الاوراق و ايضا ارتفاع السكريات القابلة للذوبان للنباتات المجهد مقارنة مع النباتات الشاهدة هذه الاثار تتزايد مع اشتداد الاجهاد و مع ذلك إن وجود الفرق الوراثي جعل من الممكن تسليط الضوء على جملة من الاليات المسؤولة على مقاومة أصناف الشعير الخمسة للاجهاد فيمكن لصنف اظهر المقاومة في صفة و تآثر في صفة اخرى.

## الكلمات المفتاحية

الشعير، الاجهاد الملحي، كلوريد الصوديوم

## Abstract

The aim of this study is to compare the behavior of five varieties of barley (*Hordeum vulgare*) grown in Algeria (Rihane, Fouara, Barberousse, Tichedrett and Saida) under conditions of salt stress during early stages of its development, at the stage of seed germination and at the seedling stage. The experiment helped to highlight the influence of four salt concentrations, is 0, 75, 150 and 250 mM NaCl, on different morphological and physiological parameters. Our results have shown that salt has a depressive effect on germination and on plant growth, in particular the height of the aerial part, the aerial and dry root biomass and the leaf surface, an accumulation of soluble sugars is also observed in stressed plants compared to controls. These effects are even more important than the intensity of stress is high. However, the presence of genotypic difference has helped develop a number of mechanisms responsible for the resistance of the five barley varieties in question to salt stress. so, each variety can be tolerant for one parameter and sensitive for another parameter.

## Keywords

*Hordeum vulgare*, salt stress, NaCl