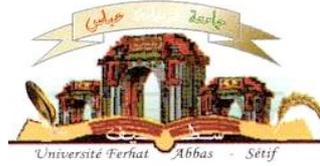


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Université Ferhat Abbas Sétif 1



جامعة فرحات عباس، سطيف 1

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET D'ÉCOLOGIE VÉGÉTALES

THÈSE

N° ...../SNV/2017

Présentée par

**ADJEL Farah**

Pour l'obtention du diplôme de

**DOCTORAT EN SCIENCES**

**Filière: BIOLOGIE**

**Spécialité: BIOLOGIE VÉGÉTALE**

THÈME

**Analyse de la tolérance de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) au stress salin**

Soutenue publiquement le 04/07/2017

DEVANT LE JURY

Président

**Benmahammed Amar**

**Pr. UFA Sétif 1**

Directeur

**Bouzerzour Hamenna**

**Pr. UFA Sétif 1**

Examineurs

**Bahlouli Fayçal**

**Pr. Univ. M'sila**

**Benbelkacem Abdelkader**

**DR. INRAA Constantine**

**Kribaa Mohamed**

**Pr. Univ. Oum El Bouaghi**

*Laboratoire RNAMS*

## REMERCIEMENTS

*Avant d'exposer mon travail ;*

*Je remercie DIEU, le tout puissant pour m'avoir donné la force, le courage, la santé et les moyens afin d'accomplir ce modeste travail.*

*La présente étude n'aurait pas été possible sans le bienveillant soutien de certaines personnes. Je voudrais les prier d'accueillir ici tous mes sentiments de gratitude en acceptant mes remerciements.*

*Si ce n'est grâce à mon directeur de thèse le Professeur **Hamenna BOUZERZOUR**, ce travail n'aurait pu voir le jour ; je le remercie pour toute son aide, sa patience et ses précieux conseils qui ont conduit à l'achèvement de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de mon plus grand respect et ma profonde gratitude.*

*C'est avec beaucoup de gratitude que je remercie également les Professeurs : **Amar BENMAHAMMED**, qui m'a fait l'honneur de présider le jury, **Faiçal BAHLOULI**, **Abdelkader BENBELKACEM** et **Mohammed KRIBAA** qui m'ont fait l'honneur de faire partie du jury, et ont accepté de juger ce travail.*

*Mes remerciements s'adressent aussi aux enseignants, personnel administratif et des laboratoires des départements des Sciences de la Nature de l'Université d'Oum El Bouaghi et de Tebessa, aux membres du laboratoire : Ressources Naturelles et Aménagement des Milieux Sensibles, et à mes étudiants et spécialement ceux que j'ai encadrés.*

*Je dédie ce travail :*

*Á mes parents, en témoignage de mon profond respect, mon affection et toute ma gratitude pour les sacrifices que vous avez consenti. Aucun de mes mots ne saurait exprimer l'ampleur de ma reconnaissance. Merci pour vos instructions, votre soutien, que Le Tout Puissant vous accorde une longue vie.*

*Á mes très chers : sœurs et leurs époux, frère et son épouse pour leur soutien moral et leurs encouragements ainsi que mes adorables neveux et nièces.*

*Je ne saurais oublier les membres de ma famille et mes très chères amies pour leur soutien. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde affection.*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail, je dis merci !*

## الملخص

تمت دراسة تحمل الإجهاد الملحي عند اثني عشر صنف الشعير خلال مرحلتي الإنبات ونمو البادرات. عوملت الأصناف بأربع تراكيز من الملح على التوالي 0، 50، 100 و 150 ملي مول من كلوريد الصوديوم. تم قياس نسبة الإنبات، سرعة الإنبات، الوزن الطازج للمجموع الخضري والجذري وكذا تراكيز البوتاسيوم والصوديوم في المجموع الخضري والجذري. اختلفت استجابة الأصناف مع مراحل النمو، كان طول الجذور ونسبة الانبات الصفات الأكثر تمييزا بين الأصناف الحساسة والمتحملة للملوحة. خلال مرحلة نمو البادرات، كان الوزن الطازج، نسبة  $K^+$ ، والحاصل  $K^+/Na^+$  الصفات المميزة بين الأصناف. تم تجميع الأصناف المدروسة في ثلاث مجموعات. أصناف المجموعة الأولى كانت مقاومة للملوحة خلال مرحلة الإنبات، أصناف المجموعتين الثانية والثالثة كانت حساسة ومقاومة على التوالي، في مراحل النمو. وأشارت النتائج إلى أن تركيز البوتاسيوم المرتفع والحاصل  $K^+/Na^+$  كانت الصفات الرئيسية للمقارنة بين المجموعات.

**الكلمات المفتاحية:** *Hordeum vulgare* L ، كلوريد الصوديوم، التحمل، مجموعة، مؤشر

## Résumé :

La tolérance à la salinité de douze génotypes d'orge a été étudiée dans les stades de germination et de croissance des plantules. Ces derniers ont été soumis à quatre traitements salins 0, 50, 100 et 150 mM de NaCl. Le pourcentage de germination, vitesse de germination, le poids frais aérien et racinaire, les concentrations  $K^+$  et  $Na^+$  dans les parties aérienne et racinaire ont été mesurés. Les réponses génotypiques variaient selon les stades de croissance. Au stade de la germination, la longueur des racines et le pourcentage de germination étaient les traits les plus distinctifs entre les cultivars sensibles et tolérants. Au stade de la croissance des plantules, le poids frais aérien,  $K^+$ ,  $Na^+$  et le rapport  $K^+/Na^+$  étaient les traits discriminants. Les génotypes évalués ont été regroupés en trois groupes. Les génotypes du premier groupe étaient tolérants au sel au stade de germination, celles du deuxième et du troisième groupe ont été sensibles et tolérantes respectivement aux deux stades de croissance. Les résultats indiquent que la concentration de  $K^+$  élevé et le rapport  $K^+/Na^+$  ont été les principaux traits de différenciation entre les groupes.

**Mots-clés:** *Hordeum vulgare* L., NaCl, tolérance, groupe, indice

## Abstract :

Salt tolerance of twelve barley genotypes was investigated at the germination and seedling growth stages. These were subjected to four salt treatments 0, 50, 100 and 150 mM NaCl. Germination percentage, speed of germination, shoots and roots fresh weight, K and Na concentrations in the shoots and roots were measured. The genotypic responses varied among growth stages. At the germination stage root length and germination percentage were the most discriminating traits between sensitive and tolerant cultivars. At the seedling growth stage, shoots fresh weight, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> ratio were the discriminating traits. The evaluated genotypes were grouped into three clusters. The genotypes of first cluster were salt tolerant at the germination stage, those of the second and the third clusters were sensitive and tolerant, respectively, at both growth stages. The results indicated that high K<sup>+</sup> concentration and K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> ratio were the main differentiating traits among clusters.

**Key Words:** *Hordeum vulgare* L., NaCl, tolerance, cluster, index

# SOMMAIRE

Remerciements

Résumés

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction -----1

---

---

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

1. La salinité -----4

2. Les plantes et la salinité -----5

    2.1. La tolérance de la salinité -----8

    2.2. Mécanismes de tolérance et d'adaptation à la salinité -----9

3. Réponse de l'orge à la salinité -----10

    3.1. Importance de l'orge en Algérie -----12

    3.2. Tolérance de l'orge à la salinité -----14

        3.2.1. La germination et la croissance des plantules -----14

        3.2.2. L'activité photosynthétique -----16

4. L'amélioration de la tolérance au stress salin -----17

---

---

**Chapitre II** **Matériel et méthodes**

1. Mise en place de l'expérience -----21

    1.1. Essai de germination -----21

    1.2. Essai de comportement -----23

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 2. Notations .....               | 23 |
| 2.1. Essai de germination .....  | 23 |
| 2.2. Essai de comportement ..... | 25 |
| 3. Analyse des données .....     | 27 |

## Chapitre III

## Résultats et discussion

|   |    |
|---|----|
| I. Réponse à la salinité .....  | 28 |
| 1. Essai de germination .....   | 28 |
| 1.1. Pourcentage de germination .....                                 | 28 |
| 1.2. Vitesse de germination .....                                     | 33 |
| 1.3. Longueur de la coléoptile et longueur et nombre de racines ..... | 35 |
| 2. Essai comportement des plantules .....                             | 36 |
| 2.1. Accumulation de la matière sèche .....                           | 36 |
| 2.1.1. Tige .....   | 36 |
| 2.1.2. Les racines .....  | 40 |
| 2.2. Structure foliaire .....   | 43 |
| 2.3. Statut hydrique foliaire .....                                   | 45 |
| 2.4. Accumulation des ions [K], [Na] et ratio [K/Na] .....            | 47 |
| 3. Comportement génotypique vis-à-vis du stress salin .....           | 53 |
| 4. Discussion générale .....  | 59 |
| Conclusion .....  | 66 |
| Références bibliographiques .....                                     | 68 |

Article

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

#<sub>Rac</sub> : Nombre de racines séminales

[K<sup>+</sup>]A : Taux de potassium aérien

[K<sup>+</sup>]R : Taux de potassium racinaire

[K/Na] A : Ratio potassium/sodium aérien

[K/Na]R : Ratio potassium/sodium racinaire

[Na<sup>+</sup>]A : Taux de sodium aérien

[Na<sup>+</sup>]R : Taux de sodium racinaire

% G : pourcentage de germination

Alan : Alanda

Ass : Assala

ATP : Adénosine Tri Phosphate

Bee : Beecher

BIOA : Biomasse aérienne

BIOR : Biomasse racinaire

cm : Centimètre

COL : Coléoptile

dS m<sup>-1</sup> : déciSiemens par mètre

ha : Hectare

Ham : Hamra

ICARDA : International Center for Agricultural Research in the Dry Areas

IG : Indice ou vitesse de germination

ISTA : International Seed Testing Association

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures

Jai : Jaidor

L<sub>Col</sub> : Longueur du coléoptile

L<sub>rac</sub> : Longueur des racines séminales

LMRS : Longueur maximale des racines séminales  
LTRS : La longueur totale du système racinaire  
Man : Manal  
Mar : Martin  
ml : Millilitre  
mM : Millimole  
mS/cm : milliSiemens par centimètre  
NRS : Nombre de racines séminales  
NTGG : Nombre total de graines qui ont germé  
NTGS : Nombre total de graines soumises à la germination  
PF : Poids frais  
PFF : Matière fraîche foliaire  
PFR : Matière fraîche racinaire  
PS : Poids sec  
PSF : Poids spécifique foliaire  
PSII : Photosystème II  
PT : Poids à pleine turgescence  
q, (qx) : quintal, (quintaux)  
QTL : Quantitative Trait Loci  
Rih : Rihane  
RuBisCO : Ribulose Biphosphate Carboxylase Oxygénase  
Sai : Saida  
SF : Surface foliaire  
Sou : Soufara  
Tich : Tichedrett  
TRE : Teneur relative en eau

## ***LISTE DES FIGURES***

|   |    |
|---|----|
| Figure 1. Réponse du pourcentage de germination des différents génotypes à l'intensité du stress salin : interaction génotype x salinité -----  | 32 |
| Figure 2. Vitesse moyenne de germination (%jour <sup>-1</sup> ) des différents génotypes sous différentes intensités de stress salin-----   | 33 |
| Figure 3. Réponse de la longueur des racines des différents génotypes à l'intensité du stress salin : interaction génotype x salinité-----  | 36 |
| Figure 4. Réponse de l'accumulation de la biomasse aérienne des plantules des différents génotypes à l'intensité du stress salin : interaction génotype x salinité----  | 38 |
| Figure 5. Réponse de l'accumulation de la biomasse racinaire des plantules des différents génotypes à l'intensité du stress salin : interaction génotype x salinité----   | 41 |
| Figure 6. Effet moyen génotype de la surface foliaire-----  | 44 |
| Figure 7. Effet moyen génotype du poids spécifique foliaire-----  | 45 |
| Figure 8. Réponse de la teneur relative en eau foliaire des plantules des différents génotypes à l'intensité du stress salin : interaction génotype x salinité-----   | 46 |
| Figure 9. Variation de l'accumulation du K <sup>+</sup> et du Na <sup>+</sup> dans les tiges et les racines en fonction de l'intensité du stress salin (moyennes faites sur l'ensemble des génotypes)-<br>----- | 48 |
| Figure 10. Accumulation du K <sup>+</sup> dans les racines des différents génotypes en fonction de l'intensité du stress salin-----   | 50 |
| Figure 11. Accumulation du K <sup>+</sup> dans la tige des différents génotypes en fonction de l'intensité du stress salin-----   | 50 |

|  |    |
|--|----|
| Figure 12. Accumulation du Na <sup>+</sup> dans les racines des différents géotypes en fonction de l'intensité du stress salin-----  | 51 |
| Figure 13. Accumulation du Na <sup>+</sup> dans la tige des différents géotypes en fonction de l'intensité du stress salin-----  | 51 |
| Figure 14. Variation du ratio K/Na des racines des différents géotypes en fonction de l'intensité du stress salin-----   | 52 |
| Figure 15. Variation du ratio K/Na de la tige des différents géotypes en fonction de l'intensité du stress salin-----  | 53 |
| Figure 16. Groupage des géotypes selon l'indice de tolérance des variables mesurées sous stress modéré de 50 mM NaCl (HA = Hamra, MT= Martin, RH = Rihane <sub>03</sub> , TCH= Tichedrett, AL= Alanda, AR= Arig <sub>8</sub> , AS= Assala, MN= Manel, SD= Saïda, BE = Beecher, JA= Jaïdor, SF = Soufara)-----                  | 54 |
| Figure 17. Groupage des géotypes selon l'indice de tolérance des variables mesurées sous stress sévère de 150 mM NaCl (TCH= Tichedrett, BE = Beecher, AS= Assala, RH = Rihane <sub>03</sub> , SD= Saïda <sub>183</sub> , HA = Hamra, SF = Soufara, AR= Arig <sub>8</sub> , MT= Martin, JA= Jaïdor, AL= Alanda, MN= Manel)----- | 55 |
| Figure 18. Différences inter groupes pour l'indice de tolérance des variables mesurées sous stress modéré de 50 mM NaCl (G1= Hamra, Martin, Rihane <sub>03</sub> , G2 = Tichedrett, G3= Alanda, Arig <sub>8</sub> , Assala, Manel, G4 = Saïda, Beecher, Jaïdor, Soufara)-----  | 56 |
| Figure 19. Différences inter groupes pour l'indice de tolérance des variables mesurées sous stress sévère (G1= Tichedrett, Beecher, Assala, Rihane <sub>03</sub> , G2 = Saïda, Hamra, Soufara, G3 = Arig <sub>8</sub> , Martin, Jaïdor, Alanda, Manel)-----  | 57 |

## ***LISTE DES TABLEAUX***

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1. Evolution des superficies, productions et rendements de l'orge en Algérie (2000 / 2006) (MADRP, 2006) -----   | 13 |
| Tableau 2. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des variables mesurées sur l'essai de germination-----   | 29 |
| Tableau 3. Valeurs moyennes de l'effet principal génotype des variables mesurées sur l'essai de germination-----   | 29 |
| Tableau 4. Valeurs moyennes de l'effet principal salinité des variables mesurées sur l'essai de germination-----   | 31 |
| Tableau 5. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des variables mesurées sur l'essai de comportement des plantules-----  | 37 |
| Tableau 6. Indice de la tolérance à la contrainte saline des différents génotypes pour la matière sèche (ms) accumulée dans la tige sous 50, 100 et 150 mM NaCl-----                           | 39 |
| Tableau 7. Indice de la tolérance à la contrainte saline des différents génotypes pour la matière sèche (ms) accumulée dans les racines sous 50,100 et 150 mM NaCl---                          | 42 |
| Tableau 8. Indice de la tolérance à la contrainte saline des différents génotypes pour la teneur relative en eau de la feuille sous stress salin de 50,100 et 150mM NaCl---                    | 47 |
| Tableau 9. Classement de la réaction des génotypes à la salinité d'intensité modérée et sévère à la germination et au stade plantule (R= résistant, I= moyennement tolérant, S= sensible)----- | 58 |

## ***INTRODUCTION***

La salinité émerge des causes naturelles comme un faible ratio pluie/évaporation, l'existence de roches mères salines et l'utilisation d'eau d'irrigation de mauvaise qualité. L'accumulation des substances chimiques provenant d'effluents industriels ainsi que l'utilisation excessive d'engrais minéraux sont aussi des sources de salinité, quoique secondaires (Tester et Davenport 2003; Rengasamy, 2006). La salinité affecte significativement les aspects économiques et sociaux des régions arides et semi-arides (Ashraf *et al.*, 2012). La rareté des terres arables pousse à utiliser les terres qui sont affectées par la salinité pour les valoriser avec des espèces tolérantes.

Parmi les céréales, l'orge (*Hordeum vulgare* L.) est l'espèce qui tolère le plus la salinité en comparaison avec les blés dur et tendre (Tester et Davenport 2003 ; Munns et Tester 2008 ; Ashraf *et al.*, 2012). Suite à cette tolérance, toute relative, l'orge est emblavée dans des régions arides et semi-arides qui se caractérisent par des contraintes assez fortes rendant la culture des blés peu économique (Bouzerzour *et al.*, 1998).

L'augmentation de la production de cette espèce, dans les milieux difficiles, caractérisés par des contraintes abiotiques sévères, passe, certes par l'amélioration de l'itinéraire technique, mais aussi et surtout par l'amélioration variétale. En milieux difficiles, la capacité de production ou rendement en grains de la variété est liée au potentiel génétique et à la capacité de tolérance des stress qui caractérisent le milieu ciblé (Benmahammed *et al.*, 2010 ; Nouar *et al.*, 2012 ; Adjabi *et al.*, 2014). De ce fait l'amélioration du rendement en grains en milieux difficiles, est subordonnée à l'amélioration concomitante de la tolérance des stress (Ceccarelli , 2010 ; Reynolds *et al.*, 2012).

Les divers mécanismes impliqués dans la tolérance de la salinité ne sont pas totalement élucidés et de ce fait sont peu utilisés en sélection, lors le criblage des populations en ségrégations (Rebetzke *et al.*, 2002 ; Munns *et al.*, 2006 ; Munns et Tester, 2008 ; Ashraf *et al.*, 2012). Pour preuve, peu de variétés de céréales tolérantes aux stress abiotiques ont été sélectionnées sur la base des mécanismes de tolérance ou des caractères qui leur sont liés. De ce fait l'étude des mécanismes qui sous-tendent la tolérance des stress abiotiques, chez une espèce donnée, reste d'actualité. Hollander (1979), Munns *et al.*, (2006) ainsi que Ashraf *et al.*, (2012), concluent qu'il est impératif de mieux comprendre la réponse des plantes et les mécanismes qu'elles développent pour contrer ou tolérer la salinité, pour discriminer plus efficacement entre les géotypes tolérants et ceux qui sont sensibles.

Sous conditions arides et semi-arides, l'installation de la culture est une phase très importante qui conditionne le rendement final de la culture. Cette phase comprend la germination, la levée et l'installation des plantules. Ces stades végétatifs sont très sensibles aux stress hydrique et salin (Jamil *et al.*, 2005). Une bonne installation des plantules, sous conditions contraignantes, dépend des capacités génétiques de la variété à tolérer la contrainte et du degré de sévérité de la contrainte en question (Maas, 1986 ; Munns *et al.*, 2006).

La présence de la variabilité génétique de réponses aux stress est rapportée chez les céréales (Gill *et al.*, 2003 ; Sharma *et al.*, 2004). De nombreuses caractéristiques sont utilisées pour le criblage des plantes pour la réponse au stress salin. Parmi ces caractères figurent entre autres le pourcentage de germination, la croissance des racines, l'élongation du coléoptile, celle de la tige et l'accumulation des ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> au niveau des feuilles et/ou des racines (Munns *et al.*, 1995 ; 2006, Benderradji *et al.*, 2012 ; Brini *et al.*, 2013).

Compte tenu de l'importance de la phase germination des semences dans le développement ultérieur de la plante notamment sous conditions arides et semi-arides, il est important d'étudier la germination et d'évaluer la tolérance des plantes à ce stade végétatif. Cette étude se fixe pour objectif de déterminer la réponse des variétés d'orge au stress salin, au stades germination et plantule.

## **CHAPITRE I: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

### **1. LA SALINITE**

Après la sécheresse, la salinité du sol et de l'eau est le second important facteur limitant la croissance et le développement des cultures des régions arides et semi-arides. Ce phénomène touche déjà près de 19% des terres agricoles sous cultures, et il est en constante augmentation (Flowers *et al.*, 1997 ; El-Hendawy *et al.*, 2005).

Sur la base de leurs caractéristiques chimiques, les sols sont classés comme étant faiblement, modérément et extrêmement salins. Selon la nature et la quantité des sels qui y sont présents, ils sont classés comme étant salins, salin-sodiques et sodiques ou alcalins. Les sols salins contiennent des sels de Ca, Mg et Na. Ces sels solubles sont présents en quantités importantes pour interférer avec la croissance de diverses cultures mais la quantité du Na<sup>+</sup> échangeable n'est pas assez élevée pour modifier les propriétés des sols. La conductivité électrique de l'extrait saturé de ces sols est généralement supérieure à 4 dS m<sup>-1</sup>, et le pourcentage de Na<sup>+</sup> échangeable est inférieur à 15, alors que le pH se situe dans la tranche des 7.0 à 8.5 (Bresler *et al.*, 1982). Ces sols sont très floкулés, ayant une capacité d'infiltration et une perméabilité égales ou supérieures à celles des sols non salins (Bresler *et al.*, 1982).

Les sols sodiques ou alcalins ne contiennent pas de quantités appréciables de sels solubles. Le pourcentage de Na<sup>+</sup> échangeable est supérieur à 15, ce qui affecte la croissance des cultures. La conductivité électrique de l'extrait saturé de ces sols est inférieure à 4 dS m<sup>-1</sup>, alors que le pH se situe dans la tranche des 8.5 à 10.5 (Bresler *et al.*, 1982). Par contre les sols salin-sodiques ont un excès de sels solubles et de Na échangeable (Bresler *et al.*, 1982). La salinité et l'alcalinité rendent les sols pauvres en matière organique et en activités biologiques.

De par le monde, 6% des terres cultivées font face au problème de salinité, et en Afrique plus 44.0 millions d'hectares sont affectés par la salinité (Frans *et al.*, 2001). La cause principale de la dégradation des terres fertiles situées en zones arides et semi-arides est la faiblesse des précipitations associée à un pouvoir évaporant de l'air élevé, engendrant l'accumulation des sels en surface du sol. 25% des terres arables de par le monde sont localisées en zones arides et semi-arides (O'Toole et Chang, 1979). Le semis ou la plantation des espèces végétales tolérantes à la salinité est une option économique qui permet l'utilisation de terres fortement affectées par la salinité et qui sont inutilisables pour d'autres espèces plus sensibles à cette contrainte.

## **2. LES PLANTES ET LA SALINITE**

Les plantes sont classées en glycophytes et halophytes selon leurs réponses à la salinité (Greenway et Munns, 1980). A la différence des halophytes, qui croissent, prélèvent et stockent le sel dans les parties aériennes, les glycophytes se développent, généralement, mal sous ces conditions (Ashraf *et al.*, 2012). Certaines espèces, appartenant à cette classe de plantes, arrivent, cependant, à s'adapter plus ou moins bien à la présence des sels. Elles mettent en œuvre des mécanismes de tolérance qui leur permettent de, non seulement, survivre mais de produire en présence de la salinité (Tester et Davenport 2003 ; Munns *et al.*, 2006 ; Ashraf *et al.*, 2012). En effet, en fonction du degré de salinité du milieu, ces espèces modifient leurs comportements morphologique, physiologique, biochimique et minéral pour survivre sous salinité (Munns *et al.*, 2006 ; Ashraf *et al.*, 2012).

Les plantes halophytes sont natives des habitats salins et peuvent survivre à des taux de salinité de 200 à 500 mM NaCl (Badgar et Ungar, 1990). Par contre les glycophytes, classe à laquelle appartient une grande majorité d'espèces, peuvent croître dans des sols non ou peu salins où elles présentent une variété de réponses

à la salinité de 100 à 150 mM NaCl (Saranga *et al.*, 1991). Les halophytes utilisent les ions inorganiques, puisés de la solution du sol, comme substances osmotiques, à l'inverse des glycophytes qui synthétisent des substances osmotiques organiques, pour maintenir la turgescence et croître sous stress salin (Schachtman et Munns, 1992 ; Khan *et al.*, 2000).

Isla *et al.*, (1998) mentionnent que les espèces sensibles à la salinité peuvent croître dans un milieu contenant l'équivalent du 1/10<sup>ème</sup> de la salinité de l'eau de mer, alors que les espèces tolérantes ou résistantes peuvent croître dans un milieu contenant l'équivalent de la salinité de l'eau de mer (35 g NaCl/l). Les mécanismes par lesquels les plantes tolèrent ou supportent la salinité sont très diversifiés. Ainsi des caractères morphologiques, physiologiques et anatomiques sont mentionnés comme conduisant à la tolérance, aussi bien chez les glycophytes que chez les halophytes (Shannon, 1997).

Sous conditions salines, et à cause de la présence d'un excès de l'ion échangeable Na<sup>+</sup> dans le sol, les ratios Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> et Na<sup>+</sup>/Ca<sup>+</sup> sont très élevés. De ce fait, et sous ces conditions de croissance, les plantes absorbent des quantités importantes de Na<sup>+</sup>, au détriment des ions K<sup>+</sup> et Ca<sup>+</sup> dont l'absorption est considérablement réduite. En effet des quantités appréciables de K<sup>+</sup> et Ca<sup>+</sup> sont nécessaires au maintien de l'intégrité et au fonctionnement de la membrane plasmique (Wexnue *et al.*, 2003). Le mécanisme physiologique qui permet le maintien d'une absorption adéquate de l'ion K<sup>+</sup>, sous stress salin, semble dépendre de l'absorption sélective du K<sup>+</sup> et de la capacité de compartimentation de l'ion Na<sup>+</sup> et de son transport vers la tige (Munns *et al.*, 2000; Carden *et al.*, 2003).

Les plantes conduites sous conditions salines subissent des concentrations très élevées de sels, notamment le NaCl, dans le milieu de croissance. Sous ces conditions les racines perdent de l'eau vers l'extérieur et leur turgescence est

réduite, il se crée alors un déficit hydrique à l'intérieur de la plante (Munns *et al.*, 2006). Les plantes halophytes évitent cette situation en compartimentant l'ion  $\text{Na}^+$  dans la vacuole (Munns *et al.*, 2006). De manière globale, la présence des sels dans le milieu de croissance ou dans le sol affecte la croissance de la plante. De ce fait, plusieurs paramètres morpho-physio-biochimiques sont utilisés pour mesurer le degré de tolérance à la salinité.

La hauteur de la végétation, la performance de rendement en grains, la surface foliaire, le taux de croissance relative, l'accumulation des osmolytes, le teneur en chlorophylle et la germination sont autant de caractères indicateurs de la sensibilité vis-à-vis de la salinité (Cramer *et al.*, 1990 ; He et Cramer, 1992 ; Noble *et al.*, 1992 ; Franco *et al.*, 1993 ; Munns, 1993 ; Shannon et Grieve, 1999 ; Flowers et Hajibagheri, 2001; Qadir *et al.*, 2001).

Ainsi Miyamoto *et al.*, (1985) observent une réduction de 50% de la capacité de germination des graines de tomate et de carottes, soumises à des stress salins de 12 et 18  $\text{dS m}^{-1}$ . En effet la germination des graines dans des conditions de salinité élevée est un stade végétatif vulnérable chez la plupart des espèces. Sous ces conditions de salinité, l'absorption de l'eau est réduite, inhibant la croissance et le développement des plantules. Les plantes sensibles, croissant sous salinité, sont rabougries, de couleur vert foncé et parfois sont succulentes (Shannon *et al.*, 1993).

La présence de l'ion  $\text{Na}^+$  à des concentrations élevées dans le milieu entrave l'absorption du  $\text{Ca}^+$  en le liant à la membrane plasmique, et favorise son transport vers l'extérieur, réduisant sa concentration à l'intérieur de la cellule (Aslam *et al.*, 1990). De plus, des concentrations élevées de l'ion  $\text{Cl}^-$  affaiblissent l'absorption des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et des phosphates ( $\text{PO}_4^-$ ) ce qui induit un retard de la croissance (Cramer *et al.*, 1989 ; Akhtar *et al.*, 2003).

La toxicité spécifique des ions est considérée comme étant la première cause des dommages causés aux plantes cultivées dans des conditions salines, plus que le stress hydrique qui intervient en seconde position (Wahid *et al.*, 1999). De ce fait, la plupart des espèces glycophytes évitent d'accumuler des ions toxiques dans la feuille, suite au transport actif qui est plus coûteux en termes d'énergie consommée (ATP).

Le taux d'assimilation du CO<sub>2</sub> est réduit sous stress salin suite à la réduction de la conductance stomatique causée par la fermeture partielle des stomates. La réduction de l'activité photosynthétique est attribuée à la réduction de la synthèse et l'efficacité de la RuBisCO et à la sensibilité du PSII vis-à-vis du NaCl (Ball et Anderson, 1986).

La tolérance à la salinité varie considérablement au cours de cycle végétatif et notamment au cours des phases de germination, végétative et reproductive (Wahid *et al.*, 1999). Des études montrent que le maïs et le blé sont sensibles à la salinité surtout lors des stades végétatifs et reproductifs, par contre chez le riz, le stade germination est le plus sensible à la salinité (Maas et Poss, 1989).

## **2.1. LA TOLERANCE A LA SALINITE**

La tolérance des plantes à la salinité est approchée soit par la capacité de survivre, soit par la croissance et la capacité de production soit par la performance relative sous conditions salines (Wahid *et al.*, 1998). La survie de la plante est écologiquement utile, mais a peu d'intérêts du point de performances agronomiques.

Ce critère devient, cependant intéressant dans le cas où l'objectif est d'identifier un germoplasme d'espèces sauvages possédant des gènes de tolérance, transférable chez des espèces domestiquées (Shannon, 1997). Pour le

physiologiste, l'améliorateur et le sélectionneur, le critère le plus intéressant en matière d'évaluation de la tolérance de la salinité est la performance relative, sous conditions salines (Shannon, 1997).

La variation de ce caractère n'est pas toujours due au seul effet du stress salin mais aussi à d'autres facteurs tels que la présence de maladies, la fertilité du sol, la faible humidité du sol, auxquels le génotype montre plus de sensibilité. Dans ce cas, les différences de comportement ne sont pas directement imputables à l'effet du stress salin (Shannon, 1997). La performance relative, sous conditions salines, est plus utile pour évaluer la tolérance génotypique.

De nombreux caractères sont venus se greffer à ces critères dans l'évaluation de la tolérance de la salinité par les plantes, dont entre autres le % de germination, l'accumulation des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  dans la tige et les racines, l'accumulation de la biomasse aérienne et racinaire, et éventuellement le rendement en grains (Shannon, 1997). Maas et Hoffman (1977) proposent d'estimer la tolérance de la salinité, chez une plante donnée, par la relation  $Y = a + bX$ , où  $Y$  est la performance relative,  $a$  est le seuil de la salinité,  $b$  est la réduction de la performance relative par unité de conductivité électrique et  $X$  est la conductivité électrique de la solution du sol.

## ***2.2. MECANISMES DE TOLERANCE ET D'ADAPTATION A LA SALINITE***

Les réponses des plantes à la salinité sont très diversifiées et variables selon l'intensité du stress salin appliqué, l'espèce et le génotype étudiés, le stade de développement et l'organe mesuré. La salinité affecte significativement les caractéristiques morphologiques, physiologiques, biochimiques et enzymatiques. Les mécanismes qui engendrent ces phénomènes ne sont pas bien élucidés, suggérant une diversité des formes d'adaptation vis-à-vis de la salinité (Ashraf *et al.*, 2012). La réponse des plantes à la salinité se manifeste par une réduction de la

croissance et des dimensions des feuilles. La réponse se manifeste aussi par le dessèchement du feuillage, l'augmentation de la succulence et une réduction du nombre de feuilles et de stomates par limbe foliaire (Wahid *et al.*, 1999).

La comparaison de l'anatomie des plantes soumises à la salinité indique que souvent la réponse est associée à des changements anatomiques. Ainsi Curtis et Lauchli, (1987) observent une augmentation de la surface du mésophylle relativement à celle de la cellule chez les espèces tolérantes. Dans les régions où la salinité est saisonale, les plantes ajustent leur cycle de vie pour l'assortir à la période qui est relativement plus favorable à la croissance.

De telles espèces sont groupées par Flowers *et al.*, (1977) sous le vocable de pseudohalophytes. Elles croissent sous salinité lorsque l'environnement racinaire est temporairement non salin suite à l'avènement des pluies qui réduisent la concentration saline de la solution du sol. De même, certaines espèces tolèrent les excès de sel en recirculant les ions en excès pour les compartimenter, notamment dans les vacuoles, ou en synthétisant des molécules de solutés compatibles qui contribuent à l'ajustement osmotique pour maintenir la turgescence cellulaire ou par absorption sélective de l'ion  $K^+$  et exclusion de l'ion  $Na^+$  (Gorham *et al.*, 1990).

La proline est un acide aminé qui s'accumule à des niveaux élevés chez diverses plantes soumises au stress salin (Rodriguez *et al.*, 1997). Le contenu en proline, en absence de stress, est insignifiant ; il augmente de manière significative en présence de stress. La proline joue un rôle protecteur dans la tolérance de la salinité (Munns *et al.*, 2006 ; Ashraf *et al.*, 2012 ).

### **3.     *REPONSE DE L'ORGE A LA SALINITE***

Les céréales à paille ne sont pas des espèces très tolérantes de la salinité. Elles constituent une importante source alimentaire dans de nombreux pays du

monde, y compris l'Algérie où la faiblesse de la pluviométrie associée à la forte évaporation contribuent à l'accumulation des sels dans l'horizon de surface (Hamdy *et al.*, 1995 ; Nedjimi et Daoud, 2006).

Les céréales sont des glycophytes qui ont évoluées en absence ou sous des conditions de faible salinité et les mécanismes qu'elles ont développés pour l'absorption, le transport, la recirculation et l'utilisation des minéraux sont perturbés sous salinité. Ainsi selon Sharma *et al.*, (2004) la germination chez ces espèces est fortement affectée sous stress salin.

Mansour *et al.*, (2005) mentionnent que le stress salin affecte l'accumulation de la matière sèche, l'assimilation chlorophyllienne, l'élongation foliaire et la croissance. Les effets du stress salin varient en fonction de l'âge de la plante, l'organe considéré, la nature des ions associés au sodium et l'intensité du stress salin lui-même (Munns *et al.*, 2006).

L'amélioration et la sélection des céréales pour la tolérance à la salinité et leur utilisation sur des sols modérément salins permet d'améliorer la production des zones sujettes à la salinité (Nawaz *et al.*, 1986). Flowers et Yeo (1995) considèrent que cette étape est impérative notamment pour produire des variétés tolérantes utilisables sous irrigation. L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est une spéculiation importante, en Algérie, où elle occupe une grande part des emblavements notamment en zones arides et semi-arides.

Le genre *Hordeum* comporte des espèces halophytes, dont à titre d'exemple *Hordeum jubatum* L., ce qui fait que cette espèce est intéressante pour les études relatives à la tolérance de la salinité. Selon Niazi *et al.*, (1992) l'orge cultivée, quoiqu'elle soit un glycophyte, se distingue par une importante variabilité de la tolérance vis-à-vis de la salinité. En effet certaines variétés peuvent croître sous

salinité élevée ne perdant que 50% de leur capacité de rendement en grains (Greenway, 1962).

Selon Munns *et al.*, (2006), la tolérance de l'orge à la salinité est due à l'évitement de l'accumulation excessive des sels à l'intérieur de la plante. En effet l'orge cultivée est capable d'exclure les ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> du circuit de la transpiration, de sorte que le flux de ces ions vers la tige est plus faible et presque indépendant de la concentration en sels de la solution du sol (Munns et al., 2006).

### **3.1. IMPORTANCE DE L'ORGE EN ALGERIE**

L'orge cultivée (*Hordeum vulgare* L.) de constitution génomique diploïde (2n=14), est aussi ancienne que les origines de l'agriculture elle-même. L'orge à 2 rangs, remontant au néolithique, 7000 ans avant Jésus Christ, a été trouvée dans le croissant fertile, au Moyen Orient. Elle est considérée comme étant les restes les plus anciens de l'orge cultivée (Harlan, 1975).

L'orge est issue de formes sauvages de l'espèce *Hordeum spontaneum* que l'on trouve encore aujourd'hui au Moyen Orient. L'orge est une monocotylédone, appartenant à la famille des *Poaceae* (*Graminaceae*). Sa classification est basée sur la fertilité des épillets latéraux, la densité de l'épi et la présence ou l'absence des barbes (Rasmusson 1992).

Au stade herbacé, elle se distingue principalement des autres céréales par un feuillage vert clair, la présence d'une ligule très développée, des oreillettes glabres et un fort tallage herbacé. L'inflorescence est un épi, le plus souvent barbu. Le rachis porte sur chaque article trois épillets mono-flore, un médian et deux latéraux. Le grain est vêtu par des glumelles qui ne s'en séparent pas lors du battage, ce qui améliore la teneur en cellulose brute.

De manière générale, la production des céréales, en Algérie, est en deçà de la demande. Ceci exige une amélioration des rendements aussi bien en milieux favorables qu'en milieux contraignants (Meziani *et al.*, 2011 ; Adjabi *et al.*, 2014). L'orge (*Hordeum vulgare* L.), dont les superficies approchent celles du blé dur (*Triticum durum* Desf.), trouve une multitude d'utilisation en alimentation humaine et animale. La demande est élevée en production animale, où cette espèce est utilisée sous forme de grain, de paille et même les chaumes et résidus laissés sur champs sont pâturés (Abbas et Abdelguerfi, 2008).

La culture de l'orge est pratiquée, en Algérie, essentiellement sur les hauts plateaux. Les superficies qui lui sont consacrées varient d'une année à l'autre avec une moyenne, sur plus d'un siècle (1901-2005), de 1 million d'hectares et une production moyenne variant de 1,6 à 18 millions q/an et une moyenne de rendement grain de 6.7 q/ha (Menad *et al.*, 2011). De 2000 à 2006 les superficies variaient de 200.000 à plus d'un million d'hectares, cependant les rendements restaient faibles et variables d'une année à l'autre de l'ordre de 5 à 15 q/ha (Tableau 1).

**Tableau 1. Evolution des superficies, productions et rendements de l'orge en Algérie (2000 / 2006) (MADRP, 2006) :**

| Période | Superficies (ha) | Production (q) | Rendement (qx/ha) |
|---------|------------------|----------------|-------------------|
| 2000    | 215630           | 1632870        | 7.57              |
| 2001    | 515690           | 5746540        | 11.14             |
| 2002    | 401400           | 4161120        | 10.36             |
| 2003    | 782380           | 12219760       | 15.61             |
| 2004    | 915440           | 12116000       | 13.23             |
| 2005    | 684648           | 10328190       | 15.08             |
| 2006    | 812280           | 12358800       | 15.21             |

L'orge est une espèce très adaptée aux systèmes de cultures pratiqués en zones sèches. Cette adaptation est liée à un cycle de développement plus court et à une meilleure vitesse de croissance en début du cycle. La culture de l'orge s'insère bien dans les milieux caractérisés par une grande variabilité climatique où elle constitue avec l'élevage ovin l'essentiel de l'activité agricole (Hakimi, 1989 ; Ceccarelli *et al.* 1998).

La sélection de nouvelles variétés relativement mieux adaptées et plus productives est un important objectif de recherche dans les régions semi-arides où de faibles progrès ont été faits en la matière notamment en ce qui concerne la tolérance vis-à-vis des stress abiotiques (Ceccarelli *et al.*, 1998, Benmahammed *et al.*, 2005).

### **3.2. TOLERANCE DE L'ORGE A LA SALINITE**

#### **3.2.1. LA GERMINATION ET LA CROISSANCE DES PLANTULES**

Les cultures telles que le haricot (*Phaseolus vulgaris*), l'aubergine (*Solanum melongena*), le maïs (*Zea mays*), la pomme de terre (*Solanum tuberosum*), et la canne à sucre (*Saccharum officinarum*) sont très sensibles au sel, à des seuils inférieurs à  $2 \text{ dS m}^{-1}$ , par contre la betterave à sucre (*Beta vulgaris*) et l'orge (*Hordeum vulgare*) peuvent tolérer des seuils supérieurs à  $7 \text{ dS m}^{-1}$  de salinité. L'orge est, en général, très sensible au stade plantule (germination-levée) et montre de la tolérance au cours des stades plus tardifs (<http://www.ussl.ars.usda.gov/saltoler.htm>).

Comparativement aux blés dur et tendre, l'orge est une espèce tolérant le stress salin. La croissance et le développement de cette espèce sont cependant affectés par les excès de salinité, avec des effets variables selon le génotype et le stade végétatif subissant le stress. Le stade végétatif le plus sensible est le stade

plantule (Greenway, 1973). Sous stress sévère, les racines ne sont plus aptes à extraire l'eau, et parfois elles cèdent leur humidité au sol avec lequel elles sont en contact (Blum et Johnson, 1992).

Selon Munns et Termaat (1986), sous stress salin la germination est fortement réduite et même retardée dans le temps ; elle est suivie par une faible élongation foliaire, résultant en un faible indice foliaire. Pour réduire de l'effet de la salinité sur la germination Huang et Redman (1995) suggèrent de traiter les semences avec l'acide borique ( $H_3BO_3$ ).

La germination est un stade végétatif clé dans le cycle de développement de la plante sous contrainte hydrique précoce et/ou sous contrainte saline parce qu'elle détermine le succès de l'installation de la culture dans un environnement plus ou moins favorable. En effet les semences sont déposées dans la couche superficielle qui contient généralement plus de sels et souvent moins d'humidité (Karou *et al.*, 1988). Les plantes glycophytes répondent de la même manière que les plantes halophytes à la salinité, au cours de la germination.

Sous stress salin, on note un retard du processus de germination associé à une réduction du nombre de graines germées (Keiffer et Ungar, 1997). Le processus par lequel la salinité inhibe la germination est très étudié. L'effet principal de la salinité sur la germination est un effet osmotique, plus qu'un effet de toxicité ionique (Almansouri *et al.*, 2001 ; Bajji *et al.*, 2002). Certaines études montrent cependant que l'effet ionique est prépondérant que l'effet osmotique, suite à la comparaison de l'effet du NaCl à celui du polyéthylène glycol (Tobe *et al.*, 1999).

Song *et al.*, (2005) mentionnent que l'augmentation du poids frais des graines germées sous stress salin était plus faible en comparaison du poids frais

des graines témoins, et concluent que le stress salin a un effet inhibiteur sur l'absorption de l'eau par les graines. Selon, Tester et Davenport (2003), les graines germées ne possèdent pas la capacité d'exclure les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  par les racines ou de les compartimenter dans la vacuole comme le font les plantules plus adultes, ce qui les rend plus sensibles à la salinité.

Hosseini *et al.*, (2002) rapportent que chez le soja (*Glycine max* L.), les génotypes qui tolèrent et germent sous forte salinité sont ceux qui possèdent la capacité d'accumuler les ions  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$  dans les tissus embryonnaires. Ceci suggère que ces ions possèdent la capacité de protéger la graine, en cours de germination, des effets du stress salin.

### **3.2.2. L'ACTIVITE PHOTOSYNTHETIQUE**

Selon Munns *et al.*, (2006), l'activité photosynthétique et la croissance cellulaire sont les premiers processus physiologiques touchés par le stress salin. Le stress salin induit la réduction de la disponibilité du  $\text{CO}_2$ , suite sa diffusion restreinte à travers les stomates et les tissus du mésophylle ou par l'altération du métabolisme photosynthétique (Lawlor et Cornic, 2002 ; Flexas *et al.*, 2007). Il induit aussi des effets secondaires dits stress oxydatifs qui ralentissent l'activité photosynthétique foliaire (Chaves et Oliveira, 2004 ; Zhao *et al.*, 2007).

Sous stress salin, la plante subit un processus bi-phasique, la première phase montre un effet de stress hydrique et la seconde montre un effet de toxicité ionique. Flowers *et al.*, (1991) mentionnent que des concentrations élevées de sodium dans les feuilles, affectent la croissance de la tige, suite à la réduction ou l'inhibition partielle ou totale de l'activité photosynthétique. Sous stress salin la plante subit un déséquilibre osmotique. Le milieu, avec lequel les racines sont en contact, exerce une pression osmotique plus élevée (plus négative) que celle du

milieu cellulaire, induisant un efflux de l'eau de la racine vers le milieu extérieur (Gorham, 1992).

#### **4. L'AMÉLIORATION DE LA TOLÉRANCE AU STRESS SALIN**

L'amélioration de la tolérance au stress salin est une tâche difficile qui enregistre de faibles progrès suite à la combinaison de plusieurs facteurs dont notamment le changement du degré de tolérance selon le stade végétatif, le grand nombre de paramètres physiologiques qui contribuent à la tolérance, l'absence de méthodes d'évaluation efficace et l'interaction entre les propriétés osmotiques et ioniques des sels en question (Munns *et al.*, 2006). De ce fait il est nécessaire pour aplanir ces difficultés d'évaluer un grand nombre de génotypes représentant une large variabilité pour espérer identifier des génotypes tolérants, et au cours du stade végétatif les plus critique vis à vis de la salinité (Zhu *et al.*, 2001).

Les caractères agronomiques tels que la capacité de survie, la biomasse accumulée, le rendement en grains ont été les critères d'évaluation de la tolérance à la salinité, les plus usités. Ceci est probablement dû à la facilité de mesure de ces paramètres. L'efficacité de sélection sur la base de ces critères reste cependant assez limitée à cause des effets de l'environnement et des différences de développement des cultivars.

La sélection sur la base des caractères physiologiques voire moléculaires serait plus efficace (Jackson *et al.*, 1996 ; Almansouri *et al.*, 1999 ; Zeng *et al.*, 2002). L'exclusion des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  ainsi que le changement des ratios  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  constituent des critères de sélection efficaces, applicables sur de nombreuses lignées sous sélection (Zhu *et al.*, 2001).

La performance génotypique est la résultante de l'action de plusieurs gènes et de leurs interactions avec l'environnement. De par le passé les techniques de

sélection classique ont réussi à améliorer de manière plus ou moins continue les rendements des cultures (Borlaug et Dowsell, 2005). Cet accomplissement a été le résultat d'une approche plus ou moins pragmatique, sans de grandes connaissances des mécanismes contrôlant les facteurs de productivité (Borlaug, 2007).

Actuellement cette approche semble insuffisante pour assurer les progrès exigés par une population en constante augmentation et un monde soumis à des changements climatiques défavorables. Ainsi les contraintes abiotiques deviendront plus présentes dans certaines régions productrices. De ce fait les efforts sont faits pour mieux comprendre, à l'échelle moléculaire, la réponse de la plante aux stress abiotiques, pour une application dans le processus de sélection.

Dans ce contexte les loci quantitatifs contrôlant les caractères d'intérêts (QTL) font l'objet de nombreuses études, suite à leur insensibilité à l'effet de l'environnement. Un QTL constitutif est constamment détecté quel que soit l'environnement où le test est effectué, par contre un QTL adaptatif n'est décelable que dans certains environnements spécifiques mais pas dans d'autres (Vargas *et al.*, 2006).

La présence et le degré d'expression des QTL adaptatifs varient selon les environnements, alors que les QTL constitutifs s'expriment quel que soit l'environnement (Jenks *et al.*, 2007). Utilisant l'accumulation de l'ion  $\text{Na}^+$ , des QTL majeur et mineurs ont été identifiés chez plusieurs espèces (Flowers et Flowers, 2005; Jenks *et al.*, 2007).

Ainsi Platten *et al.*, (2006) et Rodriguez-Navarro et Rubio, (2006) rapportent que les membres HKT (High-affinity  $\text{K}^+$  Transporter) de la famille génique des transporteurs de  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  sont impliqués dans le contrôle de la variation de la tolérance à la salinité à plusieurs loci chez le riz, le blé et l'arabette. Deux loci,  $\text{Nax}_1$

and  $Nax_2$ , contrôlant l'accumulation de l'ion  $Na^+$  dans la tige ont été identifiés par cartographie des QTL chez le blé dur (Munns *et al.*, 2003 ; James *et al.*, 2006).

Selon Huang *et al.*, (2006)  $TmHKT7-2A$  est le gène candidat pour le locus  $Nax_1$  qui est localisé sur le bras long du chromosome  $2A_L$ .  $TmHKT1-5A$  est le gène candidat du locus  $Nax_2$  qui se trouve sur le bras long du chromosome  $5A_L$ , dont l'homologue du génome D, le gène  $TaHKT1-5D$ , est le gène candidat du locus  $Kna_1$  sur le bras long du chromosome  $4D_L$ , qui induit une tolérance élevée à la salinité chez le blé tendre (Byrt *et al.*, 2007).

L'orthologue apparent du transporteur  $AtHKT1-5A$ , le transporteur  $OsHKT1;5$ , qui est présent chez le riz, affecte l'accumulation de l'ion  $Na^+$  et la tolérance à la salinité associé à un QTL cartographié sur le chromosome 1 (Ren *et al.*, 2005). L'homologue de  $HKT_1$ , le transporteur  $AtHKT_1$ , a été cartographié grâce à un QTL qui lui est associé chez l'Arabette (Rus *et al.*, 2006).  $AtHKT_1$  est impliqué dans l'exclusion de  $Na^+$  de la tige et dans la tolérance à la salinité chez *Arabidopsis* (Sunarpi *et al.*, 2005). Le transporteur  $HKT$  réduit, chez les plantes, l'accumulation du  $Na^+$  dans la tige, en favorisant la décharge du  $Na^+$  du Xylème (Ren *et al.*, 2005 ; Sunarpi *et al.*, 2005).

L'analyse du transcriptome par la technique du « microarray GeneChip » indique chez l'arabette une surexpression de plus de 400 gènes et une sous expression de plus de 130 gènes dans les racines et le feuillage au bout de 3 heures d'essai. Plusieurs de ces gènes, qui interviennent dans la régulation de la réponse au stress salin, sont aussi impliqués dans la réponse au déficit hydrique et au froid. Ceci montre la complexité des mécanismes de contrôle de la réponse génotypique à la salinité (Rus *et al.*, 2006). La capacité de la plante, à contrer le stress, est déterminée par la rapidité avec laquelle la plante perçoit le stress et active ses mécanismes de défense.

Le stress salin est perçu par la plante comme un stress ionique ou comme un stress osmotique. Les excès de Na<sup>+</sup> et du Cl<sup>-</sup> induisent des changements des formes de la structure des protéines et la dépolarisation des membranes, ce qui conduit à la perception de la toxicité ionique. De ce fait les protéines membranaires, les transporteurs d'ions ainsi que les enzymes sensibles au Na<sup>+</sup> sont reconnus comme étant les senseurs de la toxicité intra et extracellulaire du sodium.

Plusieurs transporteurs sont considérés comme des senseurs potentiels des ions Na<sup>+</sup> dans les plantes (Rus *et al.*, 2006). Le stress osmotique qui se développe, suite au stress salin, induit une perte de la turgescence et un changement du volume cellulaire. Les senseurs potentiels du stress osmotique comprennent les canaux associés aux membranes, les microtubules et les micro filaments, ainsi que les protéines transmembranaires de types kinases telles que les histidines kinases dont l'*ATHK1* (Rus *et al.*, 2006).

## **CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES**

### **1. MISE EN PLACE DE L'EXPERIENCE**

#### **1.1. ESSAI DE GERMINATION**

Les travaux de recherches ont commencé en 2007 au niveaux des Département de Biologie à l'Université Larbi Tebessi, de Tebessa et au Département des Sciences de la Nature et de la Vie ainsi que le laboratoire de recherches « Ressources Naturelles et Amélioration des Milieux sensibles » à l'Université Larbi Ben M'hidi de Oum El Bouaghi.

Le matériel végétal étudié est constitué de 12 variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) : Saïda, Tichedrett, Beecher, Jaïdor, Hamra, Soufara, Rihane<sup>03</sup>, Arig<sup>8</sup>, Alanda, Manal, Martin et Assala. Saïda et Tichedrett sont deux variétés issues de la sélection généalogique des variétés populations locales adaptées à l'ouest (Saïda) et à l'est (Tichedrett) algériens.

Beecher est une ancienne variété américaine, dont le croisement Atlas/Vaughn, a été réalisé en 1927 par Florell, de l'Université Davis de Californie. Beecher a été lancée comme cultivar en 1940, simultanément en Arizona, au Nebraska et au Colorado (Bahieldin *et al.*, 2006). Jaïdor est une lignée avancée de Montpellier qui a donné de bons résultats sur le site expérimental ITGC du Khroub, où elle fut proposée à l'inscription au catalogue sous le nom de Dhahbia (Benmahammed *et al.*, 2008).

Hamra est le synonyme de Barberousse, une sélection Inra France. Hamra a été proposée à l'inscription par la station de l'ITGC de Sétif où cette variété entra le programme de multiplication de semence en 1985 (Bouzerzour *et al.*, 2002). Hamra est une variété très productive, sensible à la photopériode, échappe au gel tardif, se caractérise par un faible poids de 1000 grains, inférieure à 33 g, sous les conditions des hautes plaines orientales (Bouzerzour *et al.*, 1998).

Soufara est une orge à 2 rangs, sélectionnée par la station ITGC de Sétif au début des années 1980, à l'intérieur du matériel végétal provenant de l'Icarda. C'est une variété très productive, adaptée surtout à la zone sud des hauts plateaux ; elle possède un poids de 1000 grains très élevé (Bouzerzour et Dekhili, 1995).

Rihane<sub>03</sub> est une variété précoce, sensible au gel tardif, très productive dans les plaines intérieures de Sidi Bel Abbés, où elle connut un début d'adoption. Rihane<sub>03</sub> est une sélection de l'Icarda des années 1985, du croisement Atlas<sub>46</sub>/Arrivat//Athenais ICB-2L-1AP-3AP-0AP (Chaabane *et al.*, 2009). Arig<sub>8</sub>, est une sélection marocaine à l'intérieure du matériel végétal de l'Icarda.

Alanda et Assala (Harma<sub>03</sub>/Beecher) sont des lignées avancées de l'Icarda. Manal est une sélection tunisienne du croisement L527/5/As54/Tra//2\**Cer*/TolI/3/*Avt*/TolI//Bz/4/*Vt*/Pro//TolI ICB81-607 (Chaabane *et al.*, 2009). Martin est une très ancienne sélection généalogique d'une population d'orge d'Algérie des années 1931, qui s'est très bien adaptée aux conditions agro climatiques Tunisiennes (Karim *et al.*, 2009).

Les semences de ces variétés ont été fournies par la station de l'Institut Technique des Grandes Cultures du Khroub. Les graines ont été soumises à la germination sous quatre intensités de stress salin : 0, 50, 100 et 150 mM de NaCl, correspondant aux conductivités 0.00, 3.40, 7.03, et 10.98 mS/cm. L'unité expérimentale est matérialisée par la boîte de pétri, portant 25 graines de même grosseur.

Les différents traitements sont répétés quatre fois. Le semis a été réalisé au mois d'avril 2007 dans trois couches de papier filtre. Le nombre de graines germées a été noté à partir du 4<sup>ème</sup> jusqu'au 8<sup>ème</sup> jour et les autres mesures ont été prises le 14<sup>ème</sup> jour après semis. Le papier filtre est changé à chaque addition de la

solution salée (10 ml) pour réduire de l'effet de l'accumulation du sel sur la germination et la croissance des plantules.

## **1.2. ESSAI DE COMPORTEMENT**

L'essai de comportement des plantules sous stress salin est conduit avec les mêmes géotypes qui ont servi de matériel végétal pour l'essai de germination. Les différents géotypes sont semés dans des pots en plastique de forme cubique avec un 15 cm de côté. Le substrat utilisé est un sable lavé à l'eau courante, puis à l'eau distillée. La quantité de substrat, séché, utilisée est de 800 g par pot. Les graines, lavées à l'eau courante et rincées à l'eau distillée, sont mises en pot, à raison de 18 graines à une profondeur de  $\pm 2$  cm. Le semis est effectué au mois d'avril 2007.

Les pots ensemencés sont arrosés avec de l'eau distillée durant les deux premières semaines avant l'introduction du stress salin, sous forme de solution nutritive, préparée selon May *et al.*, (1995). Dès le stade deux feuilles, les différents géotypes ont été soumis à 4 traitements salins : 0, 50, 100 et 150 mM de NaCl par litre de solution nutritive correspondant à des conductivités respectives de 2.16, 6.77, 9.41 et 11.65 mS/cm. Chaque combinaison géotype x traitement salin est répétée quatre fois. Les pots sont irrigués 3 fois par semaine. Le stress a duré deux semaines.

## **2. NOTATIONS**

### **2.1. ESSAI DE GERMINATION**

Le pourcentage de germination est déterminé selon Shiferaw et Baker, (1996) par :

$$\%G = 100 (NTGG/NTGS),$$

avec % G est le pourcentage de germination, NTGG est le nombre total de graines qui ont germé, et NTGS est le nombre total de graines soumises à la germination dans des boîtes de pétri. Une semence est considérée germée lorsque la radicule perce les téguments de la graine. Le pourcentage de germination a été déterminé tous les 2 jours dès le 4<sup>ième</sup> jour après mise en incubation jusqu'au 8<sup>ième</sup> jour. La vitesse de germination a été calculée en divisant le pourcentage de graines germées à chaque comptage par le nombre de jours de mise en essai de germination. Le total des valeurs donne la vitesse de germination (IG) selon Maguire (1962):

$$IG = 1/4(n_1) + 1/6 (n_2 - n_1) + 1/8 (n_3 - n_2)$$

avec  $n_1$ ,  $(n_2 - n_1)$  et  $(n_3 - n_2)$  sont les nombres de graines qui ont germé pendant les jours  $J_4$ ,  $J_6$  et  $J_8$ .

Le nombre moyen de racines séminales (NRS) a été déterminé par comptage des racines séminales ayant plus de 2 cm, sur un échantillon de 10 graines par traitement et en déduisant la moyenne par graine germée. La longueur maximale des racines séminales (LMRS) a été déterminée comme la longueur de la racine la plus longue, en moyenne de l'échantillon de 10 graines germées. La longueur totale du système racinaire (LTRS) est obtenue par le produit de ces deux variables :

$$LTRS \text{ (mm)} = NRS \times LMRS$$

La longueur du coléoptile (COL) est mesurée, à partir de la graine jusqu'à la sortie de la première feuille vraie.

## **2.2. ESSAI DE COMPORTEMENT**

Sur cet essai les notations ont porté sur la détermination de la matière sèche foliaire (PFF) et racinaire (PFR) des plantules. L'indice de tolérance est calculé par le rapport de la différence entre les valeurs moyennes mesurées sous stress et celle du témoin, sur celle du témoin x 100. Cet indice représente le taux de réduction de la valeur moyenne de la variable mesurée sous la contrainte saline, relativement à la valeur du témoin (Maas, 1986). La surface foliaire (SF) a été estimée par le produit de la longueur (L) par la largeur (l) par le coefficient 0.607 (Spangnoletti Zeuli et Qualset, 1990). L et l sont la longueur totale et la largeur moyenne des feuilles des plantules échantillonnées.

Le poids spécifique foliaire (PSF) est déterminé par le rapport de la matière fraîche foliaire sur la surface foliaire (Araus *et al.*,1998). La turgescence foliaire (TRE) est déterminée par mesure du poids frais (PF) par pesage direct après la récolte d'échantillons constitués de trois feuilles pour chaque répétition, du poids à pleine turgescence (PT), après un séjour de 4 heures des feuilles dans de l'eau distillée à l'obscurité, et du poids sec (PS) par passage des feuilles dans une étuve thermostatée à 70°C pendant 20 heures. La turgescence foliaire est calculée par la formule mentionnée par (Shiferaw et Baker, 1996)

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

Pour les besoins des analyses chimiques, les parties aériennes et racinaires sont soigneusement lavées à l'eau distillée pour éliminer toutes traces de poussière. Elles sont égouttées et mises à sécher dans une étuve dont la température est fixée à 70° C pour une durée de 24 heures (Chapman et Pratt, 1961). Une fois séchés, les échantillons sont broyés séparément et la mouture est

tamisée pour passer les mailles de 1 mm. La poudre ainsi obtenue est stockée, sous froid, jusqu'au moment de l'analyse chimique.

Au moment de l'analyse chimique, les échantillons sont séchés dans l'étuve pendant 120 minutes à une température de 70° C. 100 mg de poudre sont mis dans un creuset en porcelaine, et passés au four à moufle pendant 5 heures à une température de 550° C. Après refroidissement, les cendres sont solubilisées par ajout de 2.5 ml de HCl (37%) et digérées pendant 5 minutes. Après filtration à l'eau distillée, le filtrat est recueilli dans une fiole de 50 ml. Il constitue la solution mère à partir de laquelle la détermination des éléments est faite (C.I.I.A.F, 1969). Les cations K<sup>+</sup> et Na<sup>+</sup> sont dosés par photométrie à flamme, utilisant un appareil de type Jenway, Felsted, Essex. La détermination du pourcentage des cations est déduite par l'équation suivante :

$$\% [\text{Na}^+ \text{ et } \text{K}^+] = Y \times D \times D' / 10^4 \times P$$

Avec **D** est le volume de la solution (50 ml), **D'** est le facteur de dilution du filtrat (x 20) et **P** est le poids de la matière sèche de l'échantillon (100 mg). Les équations d'étalonnage obtenues sont les suivantes :

$$Y = 0.931726 X + 1.03306, \text{ pour le potassium}$$

et

$$Y = 0.9007 X + 0.5093, \text{ pour le sodium,}$$

où Y représente le taux de potassium et sodium et X la lecture au photomètre à flamme.

### ***3. ANALYSE DES DONNEES***

Les traitements représentés par la combinaison des deux facteurs (NaCl et génotype) sont arrangés selon un dispositif complètement aléatoire, avec quatre répétitions. Les données obtenues sont traitées par l'analyse de la variance à deux critères de classifications, utilisant le logiciel CropStat 7.2.3 (2009). Les carrés moyens des écarts des effets principaux sont testés relativement à l'interaction, si elle est significative. Cette dernière est testée relativement à la résiduelle (McIntosh, 1983).

La comparaison des moyennes est faite par le test de la plus petite différence significative au seuil de 5%. Les données du pourcentage de germination ont été transformées avant l'analyse. Les relations entre variables sont étudiées par l'analyse des corrélations et des régressions. Les valeurs de l'indice de tolérance, calculé par le rapport de la valeur sous stress sur la valeur en absence de stress, pour le stress modéré de 50mM et sévère de 150mM NaCl ont été soumises à l'analyse de groupe (cluster analysis). La stratégie retenue est basée sur la distance euclidienne de la méthode de Ward, incluse dans le logiciel Past (Hammer *et al.*, 2001).

## **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION**

### **I. REPONSE A LA SALINITE**

#### **1- ESSAI DE GERMINATION**

##### **1.1. POURCENTAGE DE GERMINATION**

La variation intra spécifique pour la tolérance au stress salin est très documentée et de nombreuses études ont montré l'existence de génotypes tolérants et d'autres sensibles au sel chez une même espèce sur la base d'essais de germination et de la croissance des plantules (Khan *et al.*, 1997 ; Mandal *et al.*, 1999 ; Huang et Redmann, 1995). Ces études montrent les efforts faits par les physiologistes et les sélectionneurs pour identifier des génotypes tolérants et les utiliser comme une source de résistance.

L'identification précoce n'est possible que suite à des expérimentations conduites sous conditions contrôlées, vu que les essais à une échelle plus grande demandent plus de semences et un matériel végétal fixé (Hollington, 1998). De ce fait les essais de germination et le suivi de la croissance des plantules sont une étape importante dans le processus d'évaluation de la tolérance au stress salin.

L'analyse de la variance montre des effets moyens salinité et génotype significatifs ainsi que leur interaction pour le pourcentage de germination (Tableau 2). Une interaction significative suggère que l'étude des effets moyens est peu utile dans la mesure où le pourcentage de germination des différents génotypes varie en fonction du degré de stress salin.

La moyenne générale de l'essai, prise par la variable pourcentage de germination est de 68.8% (Tableau 3). Cette faible valeur indique surtout l'effet du stress salin mais aussi celui de la qualité de la semence utilisée. Selon les normes de l'ISTA, une semence dont le pourcentage de germination est inférieur à 85%

est de mauvaise qualité (Nijenstein *et al.*, 2008). La qualité de la semence est affectée par la durée entre la récolte et le semis, et aussi par les conditions de récolte et de stockage, dont notamment la variation de la température et de l'humidité relative (Ellis *et al.*, 1990).

**Tableau 2. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des variables mesurées sur l'essai de germination**

| Sources      | ddl | %G       | IG                 | L <sub>Col</sub>  | # <sub>Rac.</sub> | L <sub>Rac</sub> |
|--------------|-----|----------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Génotype (G) | 11  | 4456.4** | 302.3**            | 1.4**             | 2.9 <sup>ns</sup> | 256.4**          |
| Salinité(S)  | 3   | 5529.1** | 204.3**            | 8.7**             | 42.6**            | 7166.4**         |
| G x S        | 33  | 1057.4** | 46.9 <sup>ns</sup> | 0.7 <sup>ns</sup> | 2.7 <sup>ns</sup> | 193.5**          |
| Résidus      | 144 | 396.0    | 30.1               | 0.5               | 2.2               | 79.7             |

( \* significatif  $\alpha=5\%$ , \*\* significatif  $\alpha=1\%$ , ns : non significatif)

**Tableau 3. Valeurs moyennes de l'effet principal génotype des variables mesurées sur l'essai de germination**

| Génotype              | %G    | IG   | L <sub>Col</sub> | L <sub>Rac</sub> | # <sub>Rac</sub> |
|-----------------------|-------|------|------------------|------------------|------------------|
| Saïda                 | 63.7  | 10.8 | 2.0              | 15.8             | 4.2              |
| Tichedrett            | 38.8  | 3.6  | 1.4              | 18.0             | 3.6              |
| Alanda                | 82.8  | 16.4 | 2.0              | 21.8             | 4.2              |
| Manal                 | 88.8  | 14.8 | 2.5              | 23.0             | 5.2              |
| Jaïdor                | 93.8  | 19.7 | 2.2              | 19.0             | 4.9              |
| Hamra                 | 86.0  | 15.6 | 2.2              | 17.9             | 4.5              |
| Martin                | 60.8  | 11.3 | 2.1              | 16.7             | 3.9              |
| Beecher               | 49.5  | 6.9  | 2.1              | 22.9             | 4.1              |
| Assala                | 62.3  | 9.5  | 2.0              | 28.8             | 4.3              |
| Soufara               | 60.9  | 10.1 | 1.6              | 13.7             | 4.1              |
| Arig <sub>8</sub>     | 61.0  | 11.2 | 2.4              | 21.2             | 4.6              |
| Rihanne <sub>03</sub> | 72.0  | 12.5 | 2.1              | 20.1             | 4.4              |
| M.générale            | 68.8  | 11.9 | 1.9              | 20.0             | 4.3              |
| Ppds <sub>5%</sub>    | 13.86 | 3.82 | 0.49             | 6.22             | 1.03             |

Selon Alam *et al.*, (2005), il est nécessaire de combiner les informations au sujet du % de germination sous stress salin avec celle de la qualité de la semence pour pouvoir faire la différence entre les variétés qui germent faiblement parce qu'elles sont génétiquement sensibles aux sels, de celles qui germent faiblement parce que la semence est de mauvaise qualité.

Parmi les 12 génotypes évalués, seules les variétés Manal, Jaïdor et Hamra présentent un % de germination supérieur au seuil de 85% (Tableau 3). De par l'effet moyen, les variétés les plus sensibles au stress salin sont Tichedrett et Beecher qui présentent des moyennes de 38.8 et 49.5% respectivement. Les autres génotypes ont des % de germination moyen qui varie de 60.9 pour Soufara à 82.8% pour Alanda (Tableau 3).

L'effet principal du stress salin sur le pourcentage de germination est significatif, indiquant que le % de germination baisse de 86.0% en l'absence du stress salin à 50.9% lorsque la germination est réalisée sous 150 mM NaCl (Tableau 4). Cet effet du stress salin est de type linéaire dont l'équation est :

$$\%G = -0.2234 [NaCl] + 85.53 (R^2 = 0.9795).$$

Cette équation suggère que le % de germination, en moyenne de l'ensemble des génotypes évalués, baisse de 2.234% pour une augmentation de la salinité de 10 mM NaCl. Cette équation prédit aussi que le pourcentage de germination moyen pour l'ensemble des génotypes baissera de 50%, sous stress salin d'une intensité de 159.04 mM. Selon Maas et Hoffman (1977) l'orge est une espèce tolérante du stress salin, comparativement aux blés, pour des seuils qui peuvent aller jusqu' à 250 mM NaCl.

**Tableau 4. Valeurs moyennes de l'effet principal salinité des variables mesurées sur l'essai de germination**

| NaCl (mM)   | %G   | IG   | L <sub>Col</sub> | L <sub>Rac</sub> | # <sub>Rac</sub> |
|-------------|------|------|------------------|------------------|------------------|
| 0           | 86.0 | 16.2 | 2.5              | 35.4             | 5.1              |
| 50          | 72.3 | 12.1 | 2.3              | 23.9             | 5.0              |
| 100         | 65.9 | 10.9 | 2.0              | 12.3             | 4.2              |
| 150         | 50.9 | 8.3  | 1.5              | 8.3              | 3.1              |
| M. Générale | 68.8 | 11.9 | 2.1              | 20.0             | 4.3              |
| Ppds5%      | 8.0  | 2.21 | 0.28             | 3.59             | 0.6              |

Les résultats de la présente étude indiquent globalement une sensibilité élevée des génotypes d'orge testés au stress salin. Cette sensibilité est cependant variable selon les génotypes. En effet l'étude de l'interaction génotype x salinité montre des comportements variables selon les génotypes et l'intensité du stress salin (Figure 1). Considérant que le seuil de 85% de germination, en absence de stress salin, est un pourcentage acceptable, certains génotypes, comme Soufara, Assala, Arig<sub>8</sub>, Beecher et Martin, présentent des pourcentages inférieurs à ce seuil (Figure 1).

Ces résultats suggèrent que la semence de ces variétés est de mauvaise qualité. Ceci explique les différences significatives entre variétés pour le pourcentage de germination, en absence de stress salin (Figure 1). Sous stress salin, on note le comportement exceptionnel de la variété Jaïdor qui montre une résistance élevée au stress salin. Le pourcentage de germination de ce génotype varie de 100 à 89% entre les intensités de 0 et 150 mM, soit une réduction de 11% (Figure 1).

Manel ainsi que Soufara, malgré la qualité de la semence de cette dernière variété, montrent une tolérance acceptable au stress salin, sur l'ensemble de

l'échelle de la salinité testée. Le pourcentage de germination de Manel varie de 93 à 81 et celui de Soufara de 57 à 64.5%, ce qui représente des pertes de 7.5 et 12.0 %, respectivement.

Les variétés qui montrent une sensibilité élevée sous stress salin de faible intensité sont Tichedrett dont le pourcentage de germination change de 91.0 à 26.0% entre 0 et 50 mM NaCl, suivi de Beecher (82 à 52%), Martin (79 à 66%), Saïda (96 à 72%), et Rihane<sub>03</sub> (98 à 81%) (Figure 1). Entre 50 et 100 mM NaCl, c'est Hamra et Alanda qui accusent une baisse élevée du pourcentage de germination. Entre 100 et 150 mM NaCl, c'est Rihane<sub>03</sub>, Assala et Beecher qui accusent de fortes baisses du pourcentage de germination (Figure 1).

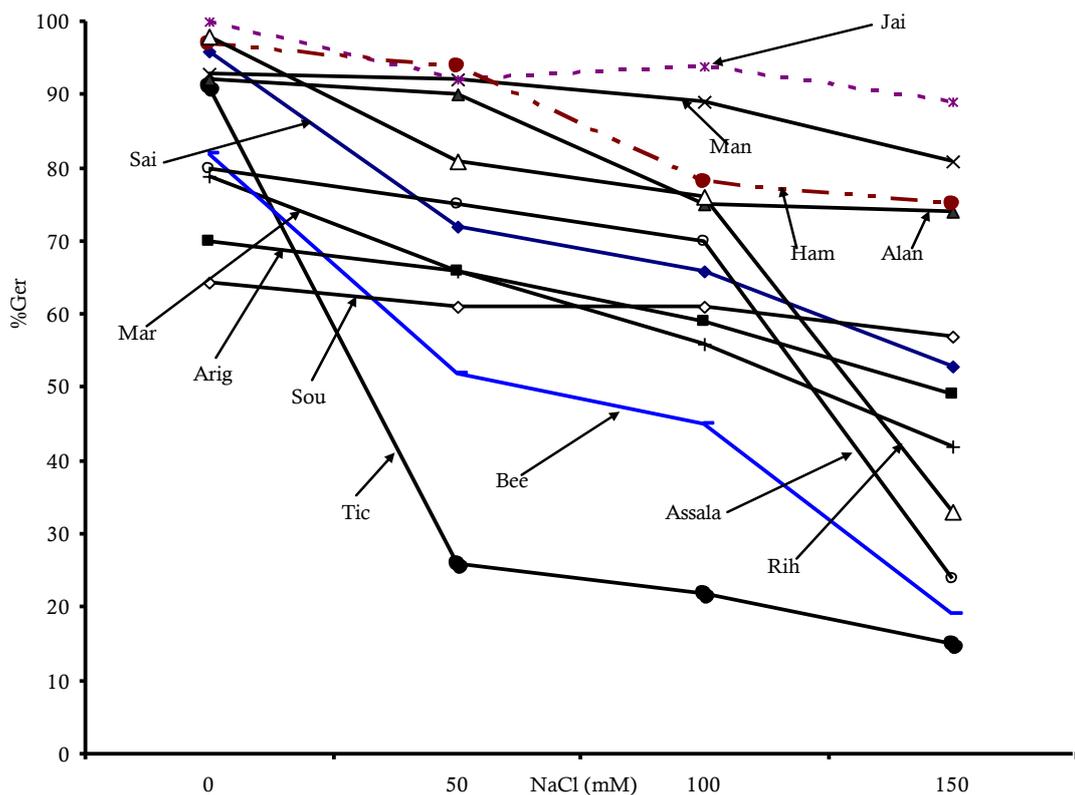


Figure 1. Réponse du pourcentage de germination des différents génotypes à l'intensité du stress salin : interaction génotype x salinité.

Ainsi ces résultats montrent que sur la base du pourcentage de germination et sous faible stress salin (0 à 50mM), les variétés qui se montrent sensibles sont

Tichedrett, Beecher, Saïda<sub>183</sub>, Rihane<sub>03</sub> et Martin. Sous stress modéré (50 à 100 mM), les variétés les plus sensibles sont Alandra, Hamra et Martin et sous stress sévère (100 à 150 mM NaCl), c'est Assala, Rihane<sub>03</sub>, et Beecher qui montrent la plus grande sensibilité vis-à-vis du stress salin (Figure 1.)

Ces résultats rejoignent ceux de Alam *et al.*, (2005) qui mentionnent que le taux de germination baisse significativement à mesure que la concentration du sel augmente chez la plupart des génotypes de riz, et que les différences génotypiques deviennent évidentes au-dessus du seuil du 50 mM NaCl. Khan *et al.*, (1997), Hchifa et Issaoui,(1999), Ben Naceur *et al.*, (2001) ainsi que Hezam et Melaouhia (2006) rapportent que le taux de germination est réduit de 44,1% sous stress intense comparativement au témoin, chez la plupart des variétés testées.

## 1.2. VITESSE DE GERMINATION

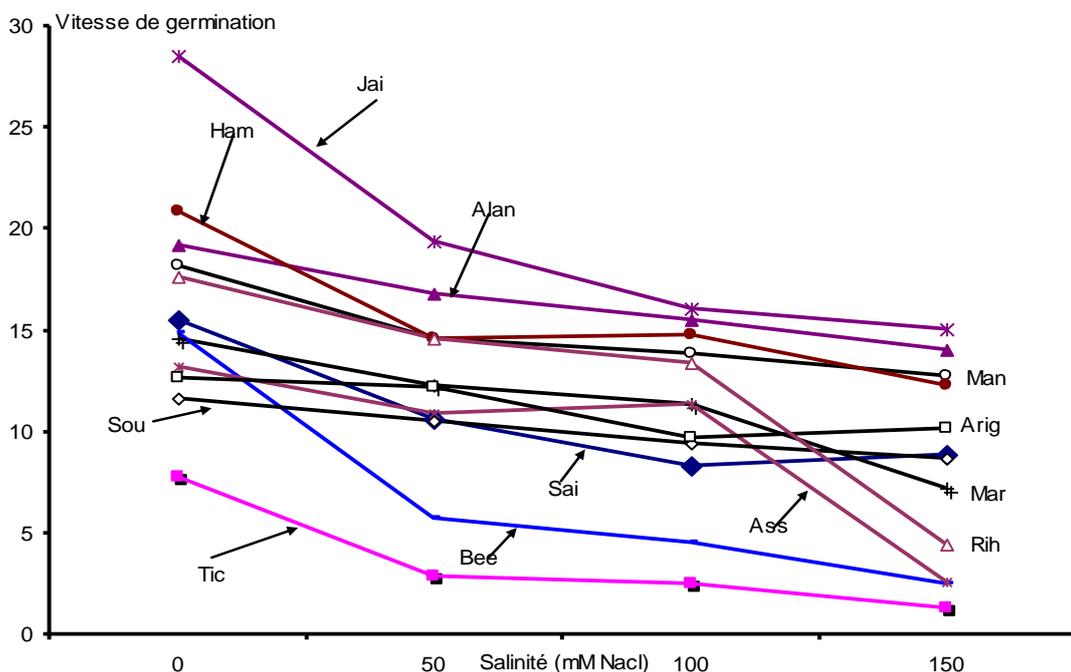


Figure 2. Vitesse moyenne de germination (%jour<sup>-1</sup>) des différents génotypes sous différentes intensités de stress salin.

L'analyse de la variance montre des effets principaux génotype et stress salin significatifs alors que l'interaction est non significative (Tableau 1). Ceci indique des différences de vitesse de germination entre génotypes, en moyenne des niveaux de salinité et des différences entre traitements salins, en moyenne des génotypes.

Les vitesses de germination, les plus élevées, sont observées chez les génotypes Jaïdor, Alanda, Hamra et Manel avec respectivement 19.7, 16.4, 15.6 et 14.8% jour<sup>-1</sup>. Les plus faibles vitesses sont observées chez Tichedrett, Beecher et Assala, avec respectivement 3.6, 6.9 et 9.5% jour<sup>-1</sup>. Le reste des variétés présentent des vitesses de germination moyennes, variant de 10.1 à 12.5% jour<sup>-1</sup> (Tableau 3).

Le stress salin affecte significativement la vitesse moyenne de germination, calculée sur l'ensemble des génotypes évalués. En effet la vitesse moyenne de germination passe de 16.2% jour<sup>-1</sup> en l'absence de salinité à 8.3% jour<sup>-1</sup> sous stress salin de 150mM NaCl (Tableau 3). Les différences de vitesse de germination, entre génotypes, sont plus importantes en l'absence de stress, elles s'amenuisent à mesure que le stress salin s'intensifie (Figure 2).

Les meilleurs génotypes pour cette caractéristique sont Jaïdor, Alanda, Hamra et Manel. Les génotypes Tichedrett et Beecher présentent les plus faibles valeurs d'énergie germinative quel que soit le degré de stress salin subi (Figure 2). Les semences des glycophytes et comme d'ailleurs celles des halophytes répondent de manière similaire au stress salin, en réduisant le nombre de graines germées par jour et en accusant un retard dans l'initiation du processus de germination (Madidi *et al.*, 2004).

### **1.3. LONGUEUR DU COLEOPTILE ET LONGUEUR ET NOMBRE DE RACINES**

L'analyse de la variance montre un effet génotype significatif pour la longueur du coléoptile et celle des racines et un effet génotype non significatif pour le nombre de racines. L'effet salinité est significatif pour les trois variables, alors que l'interaction n'est significative que pour la longueur des racines (Tableau 1). L'étude des moyennes montre que Tichedrett et Soufara présentent les coléoptiles les plus courts, avec des valeurs moyennes de 1.4 et 1.6 cm. Par contre Manel et Arig<sub>8</sub> se distinguent par les coléoptiles les plus longs, avec des valeurs moyennes de 2.5 et 2.4 cm respectivement (Tableau 3).

Les racines les plus longues sont présentes chez Manel (23.0 cm) et Assala (28.8 cm) alors que les plus courtes sont notées chez Soufara (13.7 cm), Saïda (15.8 cm) et Martin (16.7 cm). Manel et Jaïdor se caractérisent aussi par un nombre de racines plus important comparativement à Tichedrett et Martin qui se distinguent par de faibles nombres de racines (Tableau 3).

L'effet moyen salinité montre que la longueur du coléoptile est réduite à mesure que le degré de stress salin augmente en intensité. Les moyennes passent de 2.5 cm en l'absence de stress à 1.5 cm en présence de 150 mM de NaCl. On note aussi le même effet sur la longueur des racines, dont la moyenne diminue de 35.4 cm, en absence de sel, à 8.3 cm en présence de 150 mM de NaCl. Le nombre de racines diminue, quant à lui, de 5.1 à 3.1 racines pour les mêmes traitements (Tableau 4).

L'étude de l'interaction significative observée pour la longueur des racines montre qu'Assala et Beecher présentent une meilleure capacité d'élongation racinaire en l'absence de stress salin, capacité qu'ils perdent au même titre d'ailleurs que les autres variétés sous stress salin. En effet sous stress salin les différences entre génotypes deviennent peu apparentes, et les génotypes

Tichedrett et Soufara réduisent fortement la longueur de leur système racinaire sous forte salinité (Figure 3).

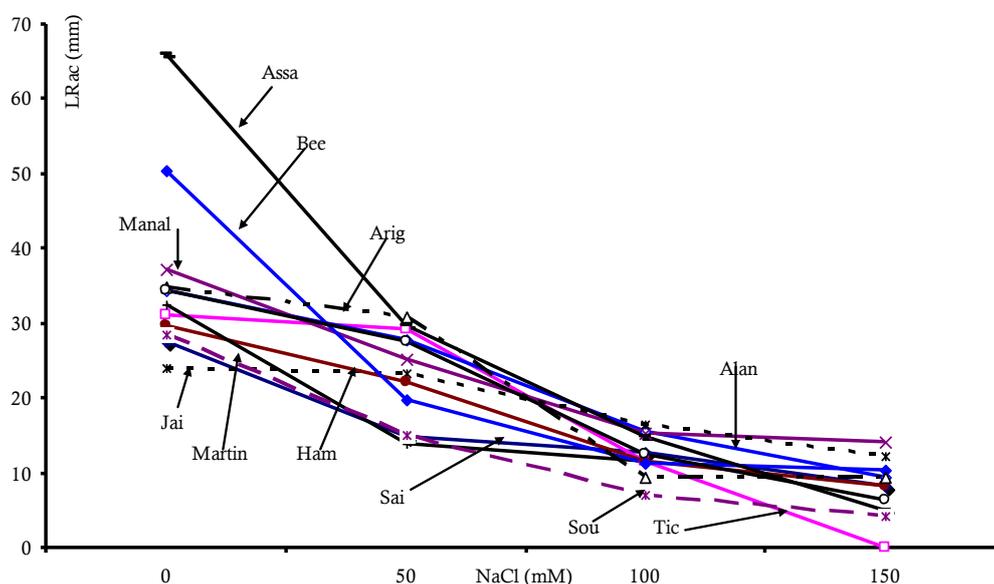


Figure 3. Réponse de la longueur des racines des différents génotypes à l'intensité du stress salin : interaction génotype x salinité.

## 2. ESSAI COMPORTEMENT DES PLANTULES

### 2.1. ACCUMULATION DE LA MATIERE SECHE

#### 2.1.1. TIGE

L'analyse de la variance indique une interaction significative pour la quantité de matière sèche accumulée dans la tige et les racines, suggérant des différences de comportement selon le degré du stress salin et le génotype considéré (Tableau 5). L'étude des moyennes de la matière sèche accumulée dans la tige montre trois comportements génotypiques typiques. Le premier type de comportement ou de réponse est représenté par des variétés qui se montrent sensible à la contrainte saline et réduisent l'accumulation de la matière sèche graduellement en fonction de l'intensité du stress.

Ce comportement est celui des génotypes Soufara, Jaïdor, Assala, Manel, Saïda et Arig<sup>8</sup>. Parmi ces génotypes Soufara et Jaïdor sont les plus sensibles et

Manel et Saïda relativement les plus tolérantes (Figure 4). En effet Soufara présente une moyenne de la matière sèche accumulée en l'absence de stress salin de 692.5 mg, valeur moyenne qui baisse à 420.0 mg sous la contrainte sévère de 150 mM de salinité.

**Tableau 5. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des variables mesurées sur l'essai de comportement des plantules**

| Source              | Génotype (G)           | Salinité (S)           | G x S                  | Résidus  |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------|
| Ddl                 | 11                     | 3                      | 33                     | 144      |
| BIOA                | 41649.80 <sup>ns</sup> | 86528.21 <sup>ns</sup> | 33895.50 <sup>**</sup> | 10566.67 |
| BIOR                | 34931.36 <sup>**</sup> | 37867.13 <sup>ns</sup> | 13912.05 <sup>**</sup> | 4419.35  |
| SF                  | 69.31 <sup>**</sup>    | 264.62 <sup>**</sup>   | 11.91 <sup>ns</sup>    | 9.44     |
| PSF                 | 12.77 <sup>*</sup>     | 10.23 <sup>ns</sup>    | 5.48 <sup>ns</sup>     | 7.25     |
| TRE                 | 182.21 <sup>ns</sup>   | 632.21 <sup>**</sup>   | 124.88 <sup>*</sup>    | 67.80    |
| [K <sup>+</sup> ]R  | 0.10 <sup>*</sup>      | 0.05 <sup>ns</sup>     | 1.06 <sup>**</sup>     | 0.03     |
| [K <sup>+</sup> ]A  | 18.57 <sup>**</sup>    | 0.75 <sup>ns</sup>     | 3.04 <sup>**</sup>     | 0.83     |
| [Na <sup>+</sup> ]R | 0.57 <sup>ns</sup>     | 1.30 <sup>ns</sup>     | 1.19 <sup>**</sup>     | 0.19     |
| [Na <sup>+</sup> ]A | 2.35 <sup>ns</sup>     | 5.97 <sup>**</sup>     | 1.85 <sup>**</sup>     | 0.65     |
| [K/Na] A            | 0.06 <sup>*</sup>      | 0.07 <sup>**</sup>     | 0.93 <sup>**</sup>     | 0.02     |
| [K/Na]R             | 0.19 <sup>**</sup>     | 0.18 <sup>**</sup>     | 1.05 <sup>**</sup>     | 0.05     |

( \* significatif  $\alpha=5\%$ , \*\* significatif  $\alpha=1\%$ , ns : non significatif)

Jaïdor présente une capacité d'accumuler 720.0 mg de matière sèche en l'absence de stress, capacité qui est réduite à 517.50 mg sous stress salin sévère. Par contre Manel accumule une quantité moyenne de matière sèche de 702.5 mg en l'absence de la contrainte, valeur qui baisse à 557.5 mg sous contrainte sévère. Quant à la variété Saïda, les valeurs moyennes extrêmes sont de 730.0 et 560.0 mg, respectivement pour le témoin et le traitement 150 mM.

L'étude de l'indice de la tolérance à la contrainte saline montre que Soufara réduit de sa capacité d'accumuler la matière sèche dans la partie aérienne de -29 à -39%, à mesure que le stress salin augmente en intensité. Pour le génotype Jaïdor, ces valeurs varient de -22 à -28%. Pour Manel et Saïda, l'effet de la contrainte saline varie -6 à -22% pour la première variété et de -8 à -23% pour la seconde (Tableau 6).

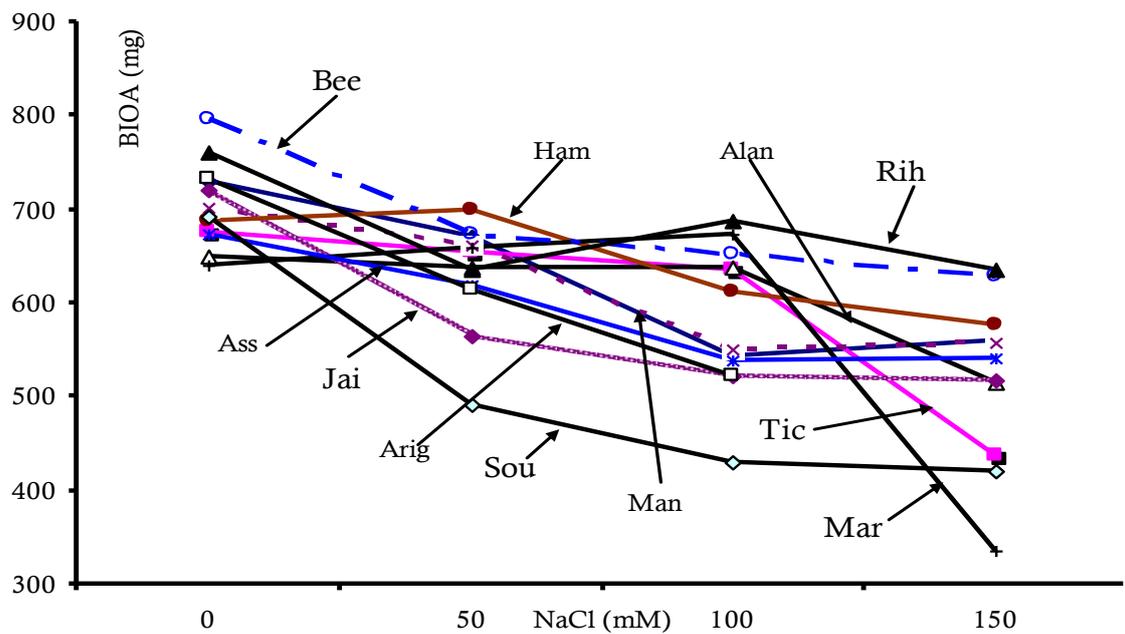


Figure 4. Réponse de l'accumulation de la biomasse aérienne des plantules des différents génotypes à l'intensité du stress salin : interaction génotype x salinité.

Le second comportement est représenté par des génotypes qui montrent une relative tolérance sur toute l'échelle de la contrainte saline étudiée. Ces génotypes sont Beecher, Hamra et surtout Rihane<sub>03</sub>. Ainsi Beecher accumule 795.0 mg de matière sèche (ms) en l'absence de stress contre 627.5 mg sous 150 mM NaCl. Ceci représente une réduction qui varie de -15 à 21 %.

Hamra produit une moyenne de 700.0 mg de ms, en l'absence de la contrainte, valeur moyenne qui passe à 577.5 mg sous 150 mM NaCl ; alors que

pour Rihane<sub>03</sub>, ces valeurs moyennes sont de 760.0 et 635.0 mg respectivement pour le témoin et le stress sévère. En valeurs relatives, ces réductions représentent -2 et -18% pour Hamra contre -10 et -16% pour Rihane<sub>03</sub> (Tableau 6).

**Tableau 6. Indice de la tolérance à la contrainte saline des différents génotypes pour la matière sèche (ms) accumulée dans la tige sous 50,100 et 150 mM NaCl.**

| Génotype             | 50mM | 100mM | 150mM |
|----------------------|------|-------|-------|
| Alanda               | -2   | -2    | -21   |
| Arig <sub>8</sub>    | -14  | -27   | -38   |
| Assala               | -8   | -20   | -20   |
| Beecher              | -15  | -18   | -21   |
| Hamra                | -2   | -13   | -18   |
| Jaïdor               | -22  | -27   | -28   |
| Manel                | -6   | -22   | -21   |
| Martin               | -2   | -5    | -50   |
| Rihane <sub>03</sub> | -16  | -10   | -16   |
| Saïda <sub>183</sub> | -8   | -26   | -23   |
| Soufara              | -29  | -38   | -39   |
| Tichedrett           | -3   | -6    | -35   |

Le troisième comportement est celui des génotypes Tichedrett, Martin et Alanda qui se montrent tolérants aux stress d'intensités faible à modéré puis deviennent très sensibles sous contrainte saline élevée (Figure 4). En effet Tichedrett produit 675.0 mg, 655.0, 635.0 et 437.5 mg de ms, pour les traitements témoin, 50, 100 et 150 mM NaCl, respectivement. Relativement à la capacité d'accumulation de la matière sèche exprimée en l'absence de stress salin, les réductions sous stress sont de -3, -6 et -35%.

Pour le cultivar Martin, les valeurs moyennes de la matière sèche accumulée dans les tiges sont de 672.5, 660.0, 640.0 et 335.0 mg de ms, respectivement pour 0, 50, 100 et 150 mM NaCl. Le stress salin induit une réduction de -2, -5 et -50%, pour des stress d'intensité faible, moyen et sévère. Le génotype Alanda produit 650.0, 637.5, 637.5 et 515.0 mg de ms, ce qui représente des réductions de -2, -2 et -21% relativement à la moyenne du témoin (Tableau 6).

### **2.1.2. LES RACINES**

L'étude des moyennes de la matière sèche accumulée dans les racines montre de grandes différences entre les génotypes évalués en l'absence de stress salin. Ainsi des cultivars tels que Arig<sub>8</sub> et Alanda accumulent des quantités de matière sèche (ms) moyennes de 430.0 et 410.0 mg, alors que des génotypes Hamra, Jaïdor et Assala accumulent des quantités égales à 257.5, 260.0 et 282.5 mg.

Ces différences sont largement dues à des différences du fond génétique spécifique à chaque variété. La réponse des différents génotypes varie aussi selon l'intensité de la contrainte saline (Figure 5). Rihane<sub>03</sub> se montre relativement le moins sensible à la salinité, produisant 385.0, 320.0 et 317.5 mg de ms sous 50, 100 et 150 mM NaCl. L'indice de tolérance à la contrainte de ce génotype prend les valeurs de +5, -13 et -14%, respectivement pour les traitements salins cités ci-dessus (Tableau 6, Figure 5).

Tichedrett et Hamra se montrent tolérants au stress salin de faible et moyenne intensités, et se montrent très sensibles au stress sévère. En effet ces deux génotypes accumulent 360.0, 340.0, 320.0 et 250.0 mg de ms pour Tichedrett et 257.5, 232.5, 217.5 et 162.5 mg de ms pour Hamra, et ceci pour les 4 traitements salins : 0, 50, 100 et 150 mM NaCl.

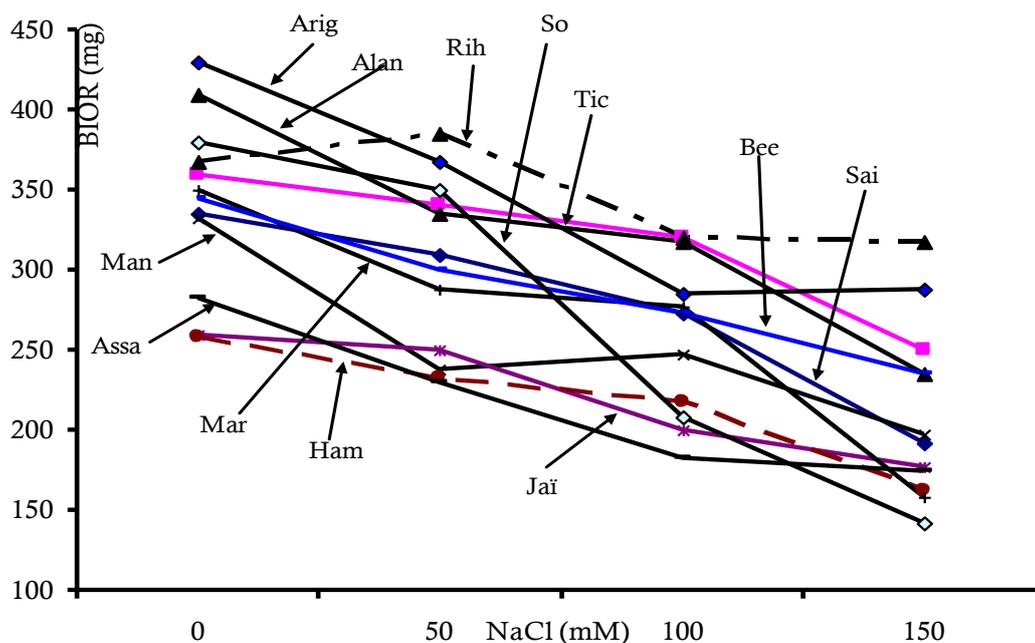


Figure 5. Réponse de l'accumulation de la biomasse racinaire des plantules des différents géotypes à l'intensité du stress salin : interaction géotype x salinité.

Relativement aux valeurs moyennes prises en absence de la contrainte saline, les réductions dues à l'effet des niveaux de salinité de 50,100 et 150 mM NaCl sont de -6, -11 et -31% pour Tichedrett et -10, -16 et -37% pour Hamra (Figure 5, Tableau 6). Jaïdor, Saïda<sub>183</sub>, Soufara et Arig<sub>8</sub> se montrent tolérants au stress salin de faible intensité (50mM NaCl) puis deviennent très affectés sous stress salin moyen et sévère.

Les quantités moyennes de matière sèche accumulées par ces géotypes pour les 4 traitements : témoin, 50, 100 et 150mM NaCl, sont de 260.0, 250.0, 200.0 et 177.5 mg de ms pour Jaïdor ; 335.0, 310.0, 272.5 et 192.5 mg de ms pour Saïda<sub>183</sub> ; 380.0, 350.0, 207.5 et 142.5 mg de ms pour Soufara ; et 430.0, 367.5, 285.0 et 287.5 mg de ms pour Arig<sub>8</sub>. Les réductions, de la ms accumulée dans les racines, affichées par ces géotypes, en réponse à la salinité, sont-4, -23 et -32% pour Jaïdor, -7, -19 et -43% pour Saïda<sub>183</sub>, -8, -45 et -63% pour Soufara et -15, -34 et -33% pour Arig<sub>8</sub> (Tableau 7).

**Tableau 7. Indice de la tolérance à la contrainte saline des différents géotypes pour la matière sèche (ms) accumulée dans les racines sous 50,100 et 150 mM NaCl.**

| Géotype              | 50 mM | 100 mM | 150 mM |
|----------------------|-------|--------|--------|
| Alanda               | -18   | -23    | -43    |
| Arig <sub>8</sub>    | -15   | -34    | -33    |
| Assala               | -19   | -35    | -38    |
| Beecher              | -13   | -21    | -32    |
| Hamra                | -10   | -16    | -37    |
| Jaïdor               | -4    | -23    | -32    |
| Manel                | -29   | -26    | -41    |
| Martin               | -18   | -21    | -55    |
| Rihane <sub>03</sub> | 5     | -13    | -14    |
| Saïda <sub>183</sub> | -7    | -19    | -43    |
| Soufara              | -8    | -45    | -63    |
| Tichedrett           | -6    | -11    | -31    |

Martin, Alanda, Assala et Manel se montrent très sensibles sur toute l'échelle de la salinité testée, en ce qui concerne l'accumulation de la matière sèche par les racines (Figure 5). Les valeurs moyennes caractéristiques de ces variétés et pour les 4 traitements sont de 410.0, 355.0, 317.5 et 235.0 mg de ms pour Alanda ; 282.5, 230.0, 182.5 et 175.0 mg de ms pour Assala ; 332.5, 237.5, 247.5 et 167.5 mg de ms pour Manel ; et 350.0, 287.5, 277.5 et 157.5 mg de ms pour Martin. Relativement aux valeurs moyennes prises en l'absence de la contrainte saline, les réductions dues aux effets de la salinité varient de -18 à -43% pour Alanda, de -19 à -38% pour Assala, de -29 à -41% pour Manel et de -18 à -55% pour Martin (Tableau 8).

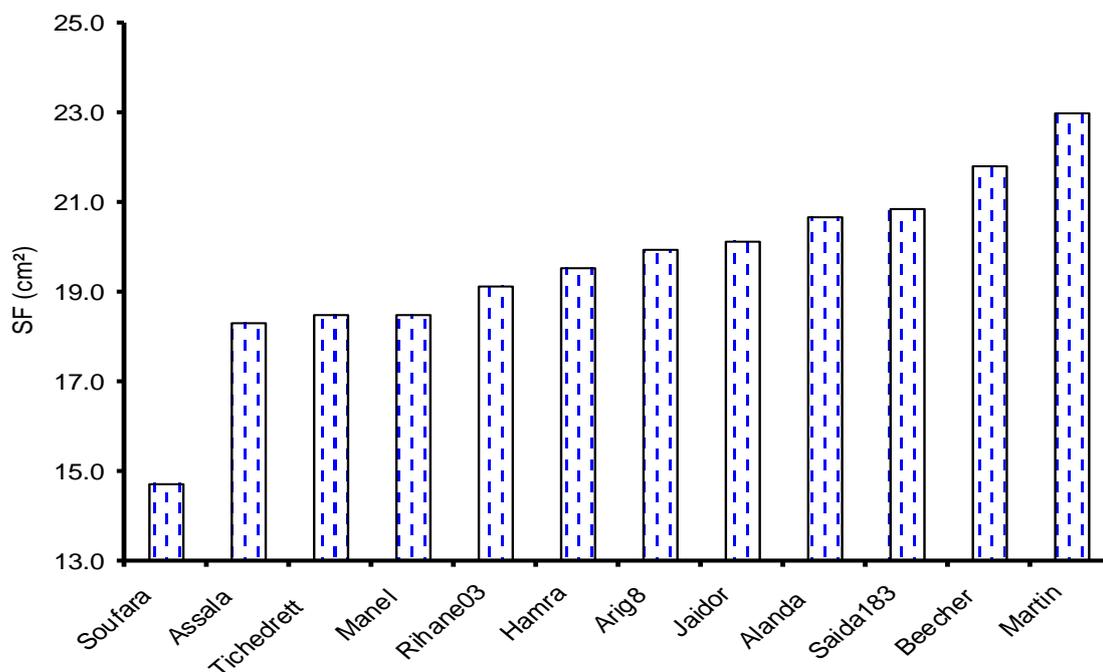
La croissance chez les plantes est largement dépendante de l'activité photosynthétique et de la durée de vie de la feuille. De ce fait la réduction de la croissance de la plante induite par le stress salin est due en partie à la réduction de l'activité photosynthétique qui fait suite à la sénescence foliaire. En effet, selon Zhu *et al.*, (2001), sous stress salin, la sénescence foliaire est indicatrice du désassemblage de l'appareil photosynthétique conduisant à une réduction des activités photochimiques des centres réactionnels PSI et PSII. Le rapport BIO Racine/BIO Aérienne est toujours inférieur à 1, ce qui montre que la masse de matière sèche des feuilles est plus élevée que celle des racines. Ce paramètre augmente avec la salinité. Cela veut dire, qu'en présence de sel, la croissance pondérale des racines devient supérieure à celle des feuilles.

## **2.2. STRUCTURE FOLIAIRE**

L'analyse de la variance montre des effets salinité et génotype significatifs et une interaction non significative pour la surface foliaire et seulement l'effet moyen génotype significatif pour le poids spécifique foliaire (Tableau 5). Ces résultats suggèrent que les génotypes étudiés diffèrent significativement pour le poids spécifique foliaire qui se montre peu sensible au stress salin. La surface foliaire se montre par contre sensible à l'effet de la salinité, et l'ordre de classement des génotypes reste constant quel que soit le degré de stress subi, puisque l'interaction n'est pas significative.

L'effet moyen du stress salin reflète parfaitement la réponse à la contrainte saline pour l'ensemble des génotypes étudiés. L'étude des moyennes de la surface foliaire, calculées sur l'ensemble des traitements salins, montre la variabilité existante entre les différents génotypes étudiés pour cette variable (Figure 6). Soufara, une orge à 2 rangs, montre la surface des feuilles la plus petite, prenant une valeur moyenne, calculée sur l'ensemble des traitements salins, de 14.7 cm<sup>2</sup>.

Les géotypes qui montrent une surface foliaire moyenne plus importante sont Beecher et Martin avec des valeurs moyennes respectives de 21.8 et 23.0 cm<sup>2</sup> (Figure 6). En réponse au stress salin, la surface moyenne de la feuille passe de 22.58 cm<sup>2</sup> en l'absence de salinité à 16.85 cm<sup>2</sup> sous stress sévère de 150 mM NaCl.



**Figure 6. Effet moyen géotype de la surface foliaire.**

Les valeurs moyennes prises par la surface foliaire sous stress salin de 50 et 100 mM NaCl sont de 19.61 et 19.38 cm<sup>2</sup> respectivement. En moyenne sur l'ensemble des géotypes, la surface de la feuille est réduite de 50% ; passant d'une valeur moyenne de 22.22 en l'absence de stress à 11.11 cm<sup>2</sup> sous une salinité de 320 mM NaCl, comme prédite par le modèle de l'effet moyen du stress salin qui est le suivant :  $SF (cm^2) = -0.0348 [NaCl] + 22.22$  ( $R^2 = 0.9200$ ,  $n = 4$ ).

Les valeurs moyennes du poids spécifique foliaire indiquent la présence de trois groupes de géotypes différents pour cette variable (Figure 7). Les variétés locales Saïda<sub>183</sub> et Tichedrett présentent les plus faibles valeurs du poids spécifique foliaire, à l'inverse des géotypes Hamra et Jaïdor qui présentent les valeurs les

plus élevées. Les moyennes de ces génotypes extrêmes sont respectivement de 1.3 et 1.4 mg cm<sup>-2</sup> pour Saïda<sub>183</sub> et Tichedrett et 70.3 et 73.0 mg cm<sup>-2</sup> pour Hamra et Jaïdor (Figure 7).

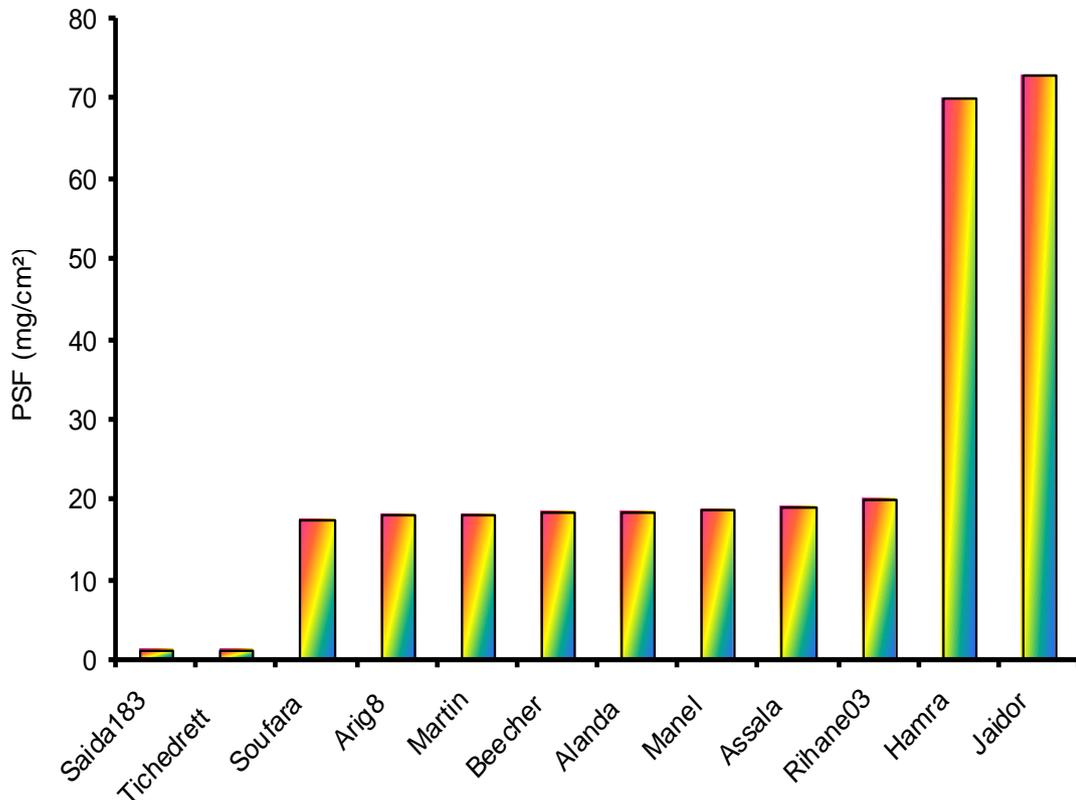


Figure 7. Effet moyen génotype du poids spécifique foliaire.

### 2.3. STATUT HYDRIQUE FOLIAIRE

En moyenne des traitements salins, les variétés d'orge évaluées diffèrent peu du point de capacité de rétention de l'eau au niveau foliaire, comme l'indique l'effet moyen génotype non significatif de l'analyse de la variance. Par contre ils réagissent différemment au stress salin, comme l'indique l'analyse de la variance qui montre un effet moyen stress salin et une interaction génotype x stress salin significatifs (Tableau 5). L'étude de l'interaction montre en effet des réponses variables selon le génotype et le degré du stress salin appliqué (Figure 8).

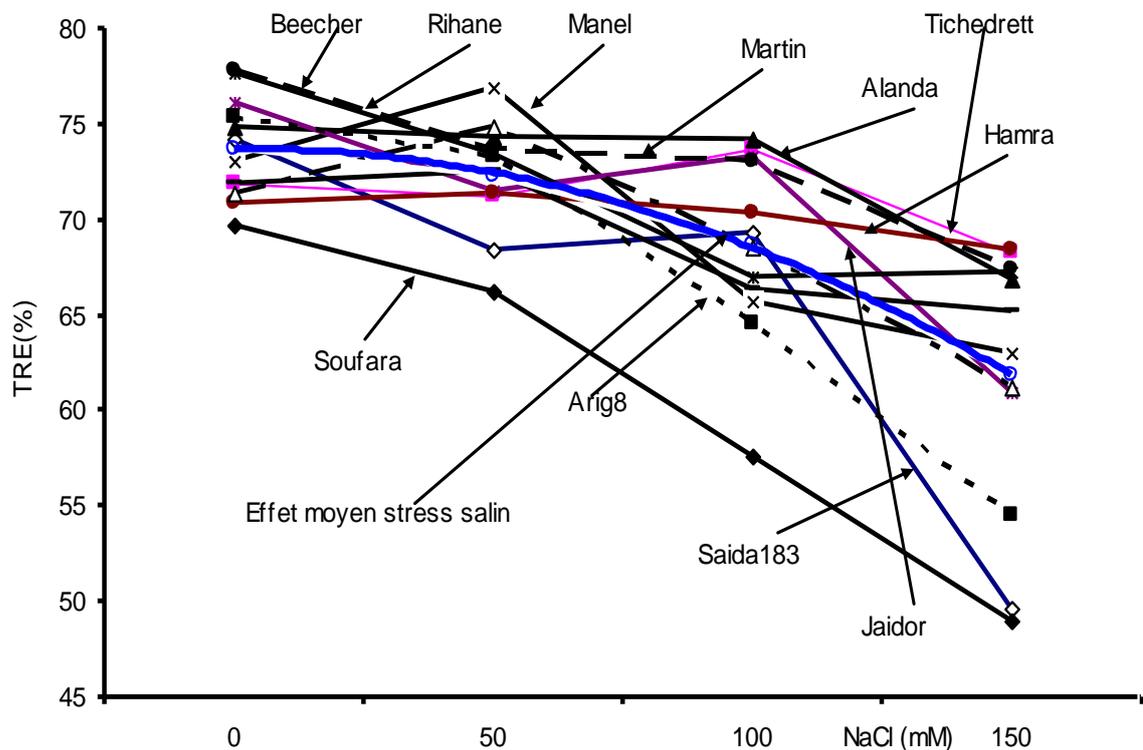


Figure 8. Réponse de la teneur relative en eau foliaire des plantules des différents géotypes à l'intensité du stress salin : interaction géotype x salinité.

La teneur relative en eau passe de la valeur de 73.7% en l'absence de stress à 61.8% sous stress salin sévère de 150 mM NaCl, suivant une courbe de forme quadratique dont le modèle est :  $TRE (\%) = -0.0005 [NaCl]^2 + 0.0022[NaCl] + 73.66$ , ( $R^2 = 0.9996$ ), (Figure 8). Les géotypes Alanda, Assala, Hamra et Tichedrett minimisent la baisse de la TRE sous les différents niveaux de stress salins testés. Ces géotypes montrent une réduction, sous stress sévère, qui reste inférieure à 10% de la valeur mesurée en l'absence de stress. Par contre Jaidor, Martin, Rihane<sub>03</sub> et Saïda<sub>183</sub> se montrent sensibles au stress sévère, où ils enregistrent de fortes réductions de la TRE, variant de 13 à 33%. Arig<sub>8</sub>, Beecher et Soufara se montrent sensibilité dès le seuil de 100 mM NaCl (Figure 8, Tableau 8).

**Tableau 8. Indice de la tolérance à la contrainte saline des différents génotypes pour la teneur relative en eau de la feuille sous stress salin de 50,100 et 150mM NaCl.**

| Génotype             | 50mM | 100mM | 150mM |
|----------------------|------|-------|-------|
| Alanda               | -0.6 | -0.9  | -10.5 |
| Arig <sub>8</sub>    | -2.7 | -14.4 | -27.6 |
| Assala               | 0.9  | -7.7  | -9.2  |
| Beecher              | -5.5 | -13.8 | -13.5 |
| Hamra                | 0.8  | -0.6  | -3.4  |
| Jaïdor               | -6.1 | -3.7  | -19.9 |
| Manel                | 5.3  | -10.0 | -13.7 |
| Martin               | -5.2 | -6.0  | -13.3 |
| Rihane <sub>03</sub> | 4.8  | -3.9  | -14.2 |
| Saïda <sub>183</sub> | -7.8 | -6.7  | -33.2 |
| Soufara              | -5.1 | -17.5 | -29.8 |
| Tichedrett           | -0.9 | 2.4   | -5.0  |

#### ***2.4. ACCUMULATION DES IONS [K], [NA] ET RATIO [K/NA]***

L'analyse de la variance montre une interaction significative pour l'accumulation du K<sup>+</sup> et du Na<sup>+</sup> dans les racines, les tiges et le ratio K/Na des racines et des tiges (Tableau 5). Sous l'effet du stress salin l'accumulation du K<sup>+</sup> diminue plus dans les tiges que dans les racines. Et il en est de même pour l'accumulation de l'ion Na<sup>+</sup> qui s'accumule plus dans les tiges que dans les racines sous l'effet du stress salin. Quel que soit le degré de stress salin, l'accumulation du K<sup>+</sup> et du Na<sup>+</sup> est quantitativement deux fois plus importante dans les tiges que dans les racines des plantules étudiées (Figure 9).

L'accumulation du K<sup>+</sup> est réduite dans les racines de -6, -11 et -19% sous l'effet du stress salin d'intensités faible, moyen et sévère. Dans la tige la réduction

de l'accumulation du  $K^+$  est de -8, -14 et -22% pour les mêmes degrés de stress salin. Par contre l'accumulation du  $Na^+$  augmente de 12, 22 et 36% dans les racines, contre 13, 25 et 44% dans les tiges. Le ratio  $K/Na$  est réduit de -16, -27 et -40% dans les racines et de -18, -31 et -46% dans les tiges.

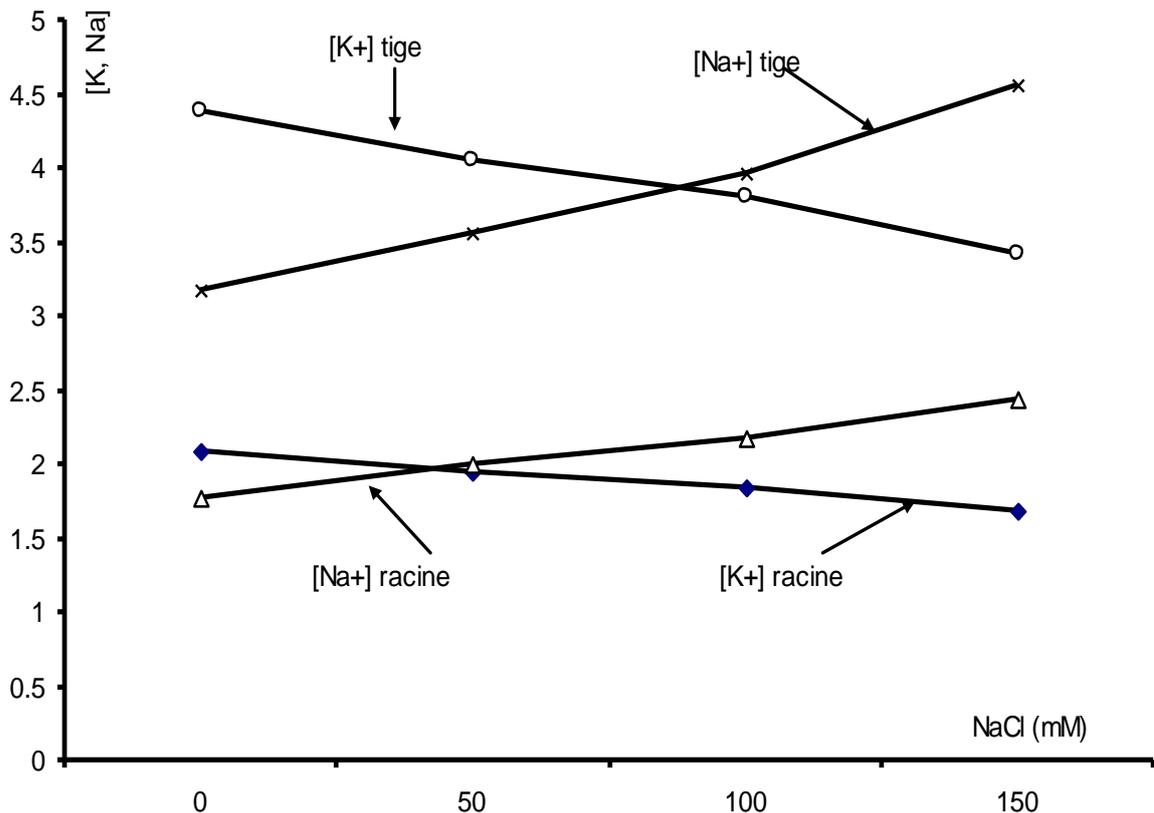


Figure 9. Variation de l'accumulation du  $K^+$  et du  $Na^+$  dans les tiges et les racines en fonction de l'intensité du stress salin (moyennes faites sur l'ensemble des géotypes)

L'étude de l'interaction montre deux géotypes qui se distinguent par leur capacité à accumuler plus de  $K^+$  dans les racines sur toute l'échelle de la salinité étudiée. Ces géotypes sont Jaïdor et Hamra, qui montrent une réponse négative et significative au stress salin (Figure 10).

Les autres géotypes diffèrent peu pour cette capacité et montrent une faible sensibilité au stress salin. En effet l'accumulation du  $K^+$  dans les racines de ces

génotypes est insensible à la salinité. Ceci rejoint les résultats de Haouala *et al.*, (2007) qui rapportent le même phénomène pour le ray- grass.

Au niveau des tiges les différences d'accumulation du  $K^+$  sont plus importantes entre génotypes et entre stress salins (Figure 11). Jaïdor et Hamra, à l'inverse de leur comportement du point de vue accumulation du  $K^+$  dans les racines, montrent une faible capacité d'accumuler le potassium dans les tiges, sous stress salin. Par contre les génotypes Saïda<sub>183</sub>, Alanda et Tichedrett accumulent d'importantes quantités de  $K^+$  sur toute l'échelle de la salinité étudiée. Le génotype Rihane<sub>03</sub> est celui qui réagit le plus au stress salin, sa capacité d'accumuler le  $K^+$  est graduellement réduite sous l'effet du stress salin (Figure 11).

En ce qui concerne l'accumulation de l'ion  $Na^+$ , on note le même phénomène pour Jaïdor et Hamra qui accumulent plus de  $Na^+$  dans les racines et moins dans les tiges, occupant les positions extrêmes parmi les génotypes étudiés (Figures 12 et 13). La capacité d'accumulation du  $Na^+$  augmente, sous l'effet du stress salin, sensiblement plus dans les racines que dans les tiges.

Soufara et Rihane<sub>03</sub> montrent une faible capacité à accumuler l'ion  $Na^+$  dans les racines. Rihane<sub>03</sub> accumule plus dans les tiges alors que Soufara prend une position intermédiaire parmi les génotypes étudiés pour l'accumulation du  $Na^+$  dans la tige (Figures 12 et 13). Pour le reste des variétés, l'augmentation de la capacité d'accumuler l'ion  $Na^+$  dans les tiges, sous l'effet du stress salin, est plus important que celle d'accumuler le même ion dans les racines (Figures 12 et 13).

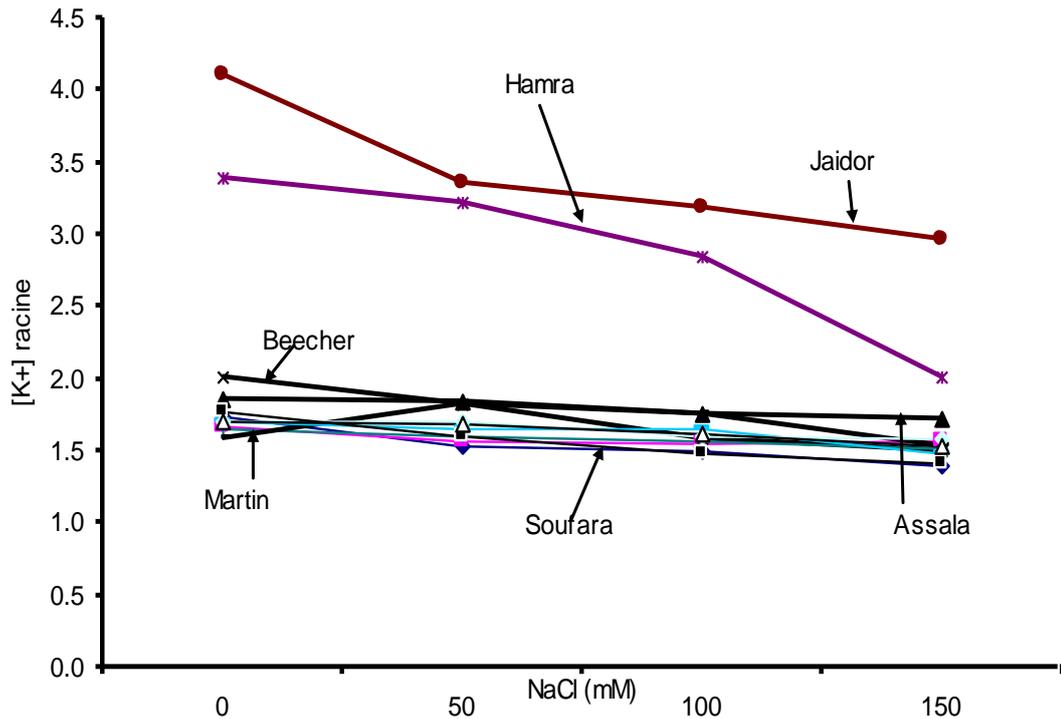


Figure 10. Accumulation du  $K^+$  dans les racines des différents géotypes en fonction de l'intensité du stress salin

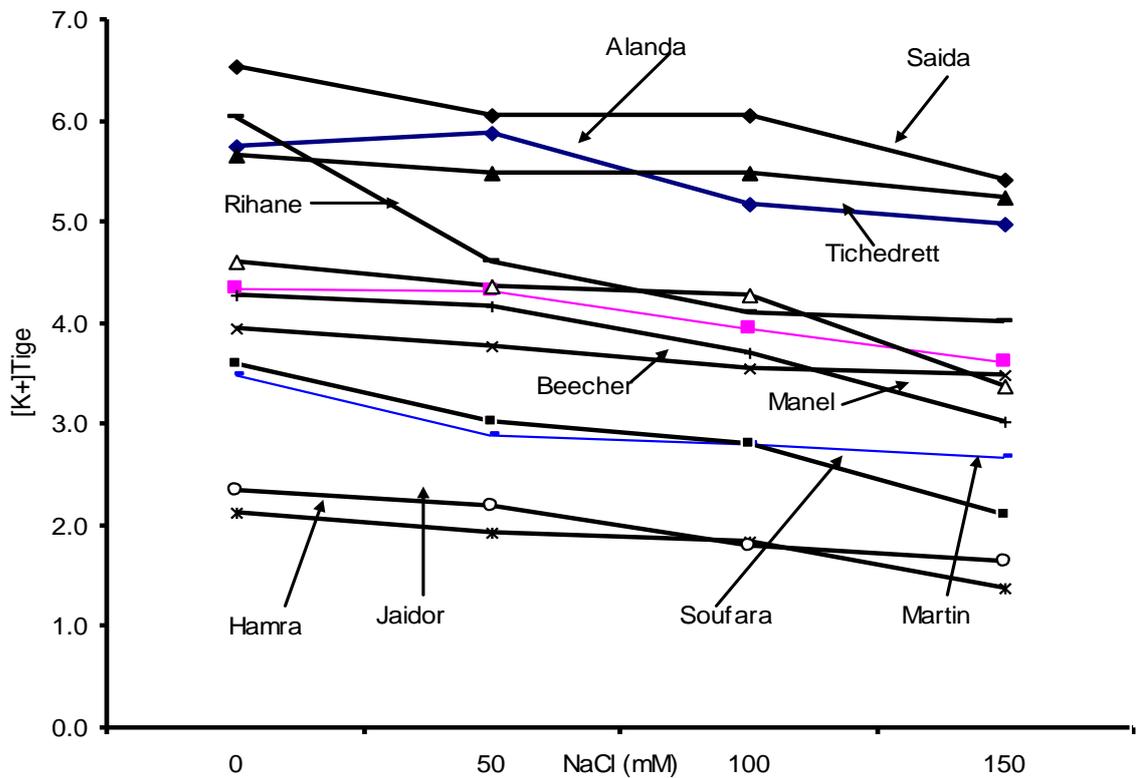


Figure 11. Accumulation du  $K^+$  dans la tige des différents géotypes en fonction de l'intensité du stress salin

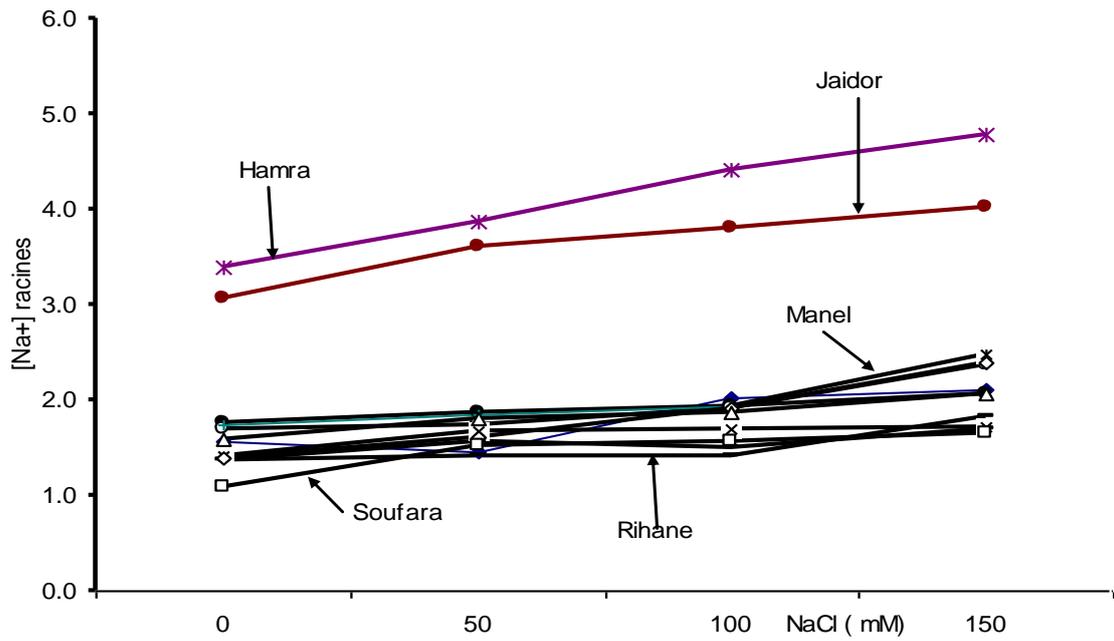


Figure 12. Accumulation du Na<sup>+</sup> dans les racines des différents géotypes en fonction de l'intensité du stress salin.

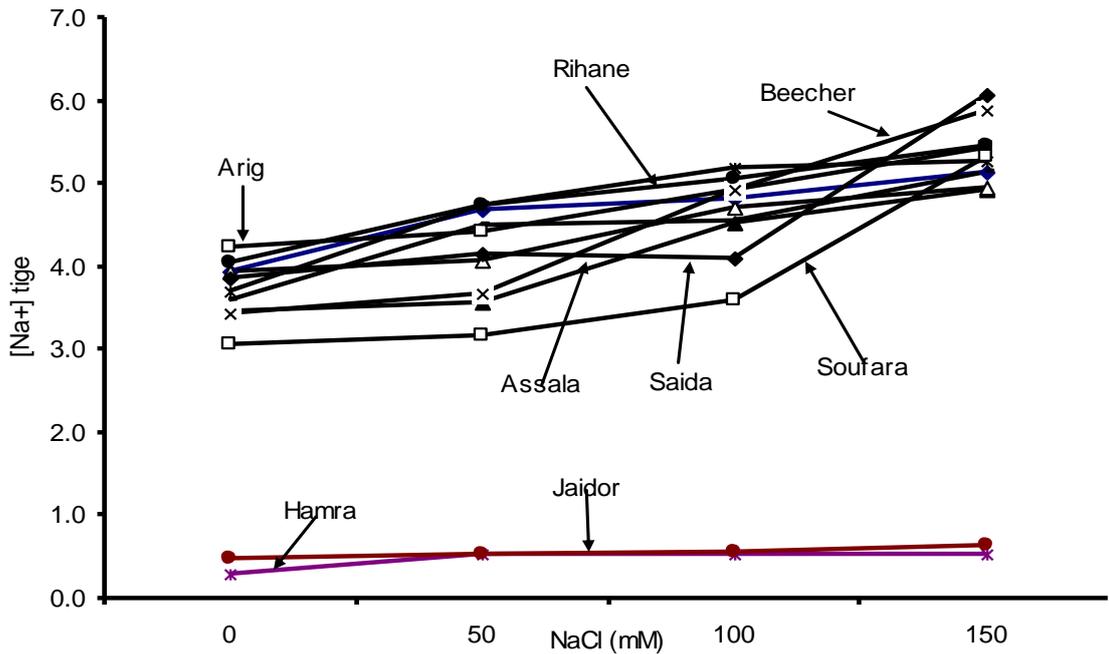


Figure 13. Accumulation du Na<sup>+</sup> dans la tige des différents géotypes en fonction de l'intensité du stress salin.

Le ratio K/Na des racines est réduit plus, sous l'effet du stress salin, chez Soufara, Beecher, Jaïdor et Hamra que chez Rihane<sub>03</sub> et Martin. Tichedrett et Manel montrent aussi une faible réduction de ce ratio (Figure 14). Pour le ratio K/Na des tiges, on note le comportement contrasté des génotypes Jaïdor et Hamra qui se distinguent par un ratio plus élevé relativement aux ratios des autres variétés étudiées (Figure 15). Le ratio de ces génotypes diminue plus sous l'effet du stress salin que celui des autres variétés.

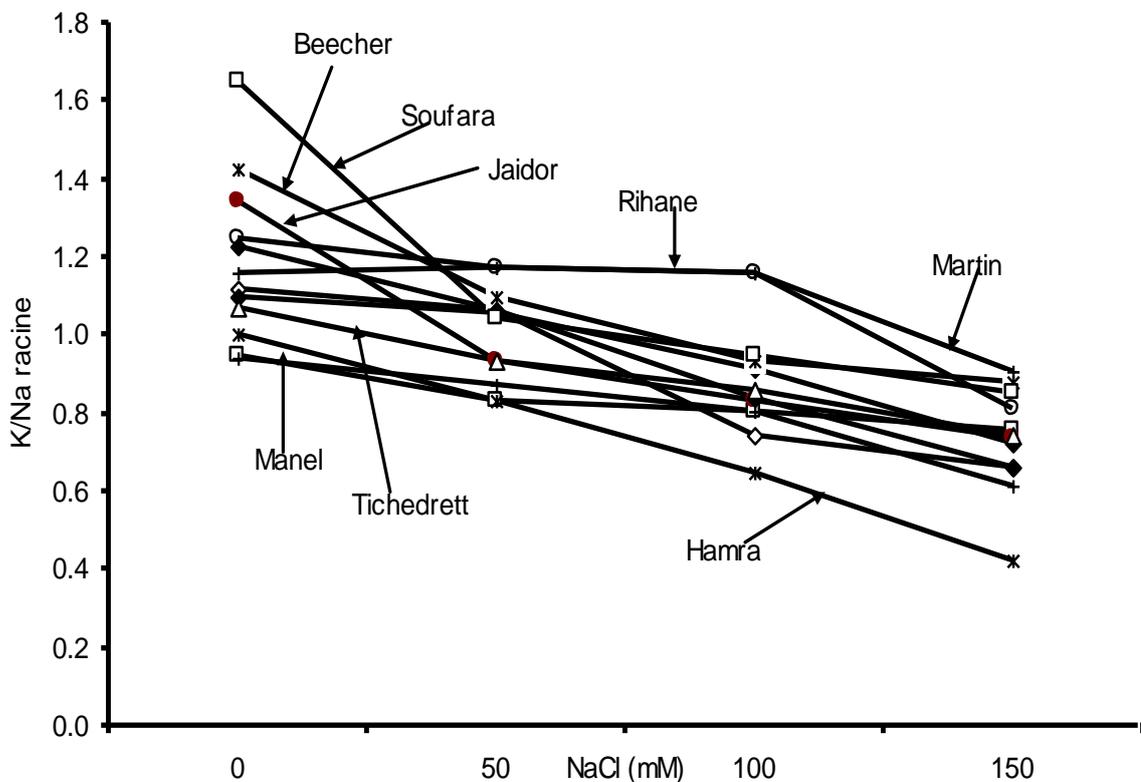


Figure 14. Variation du ratio K/Na des racines des différents génotypes en fonction de l'intensité du stress salin

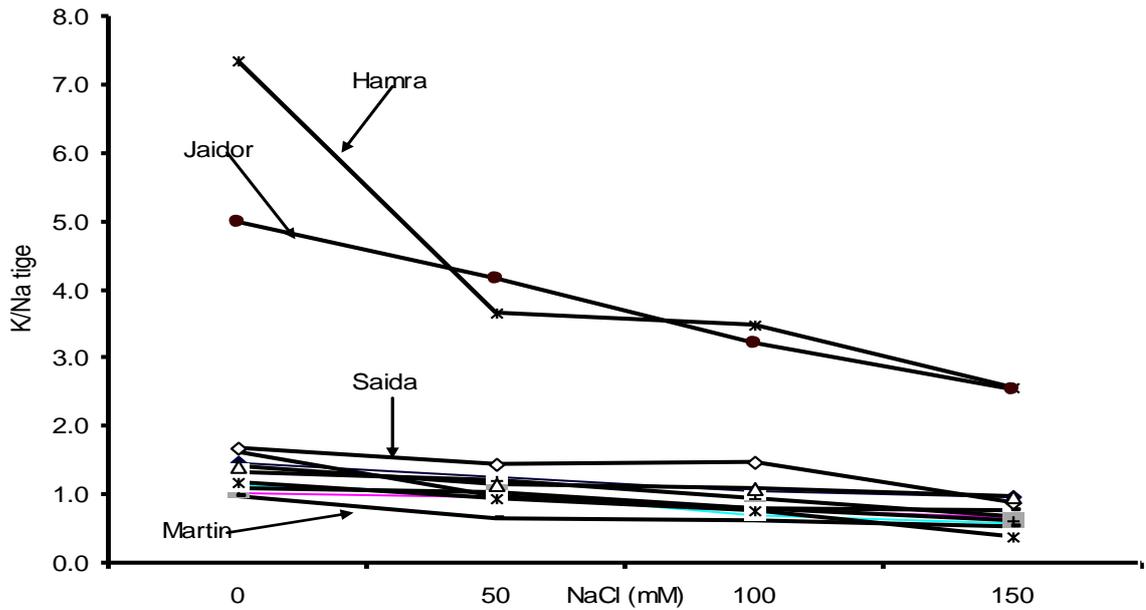


Figure 15. Variation du ratio K/Na de la tige des différents génotypes en fonction de l'intensité du stress salin

### 3. COMPORTEMENT GENOTYPIQUE VIS-A-VIS DU STRESS SALIN

L'analyse des variables mesurées, pris une à une, montre une variabilité génotypique de réponse au stress salin qui nécessite d'être synthétisée pour identifier les différents types de comportement vis à vis du stress salin. A cet effet les valeurs prises par les différentes variables mesurées, exprimée sous forme d'un indice de tolérance sous stress modéré de 50 mM et sévère de 150 mM NaCl ont été soumises à l'analyse hiérarchique de groupes (cluster analysis).

Les résultats de cette analyse indiquent la présence de quatre groupes au comportement différent sous stress salin modéré et trois groupes sous stress sévère (Figures 16 et 19). Sous stress modéré, les groupes formés sont constitués de Hamra, Martin, et Rihane<sub>03</sub>, pour le groupe G<sub>1</sub>, Tichedrett constitue un groupe à part, le groupe G<sub>2</sub> ; Alanda, Arig<sub>8</sub>, Assala, Manel forment le groupe G<sub>3</sub> et le groupe G<sub>4</sub> est constitué des variétés Saïda, Beecher, Jaïdor et Soufara (Figure 16).

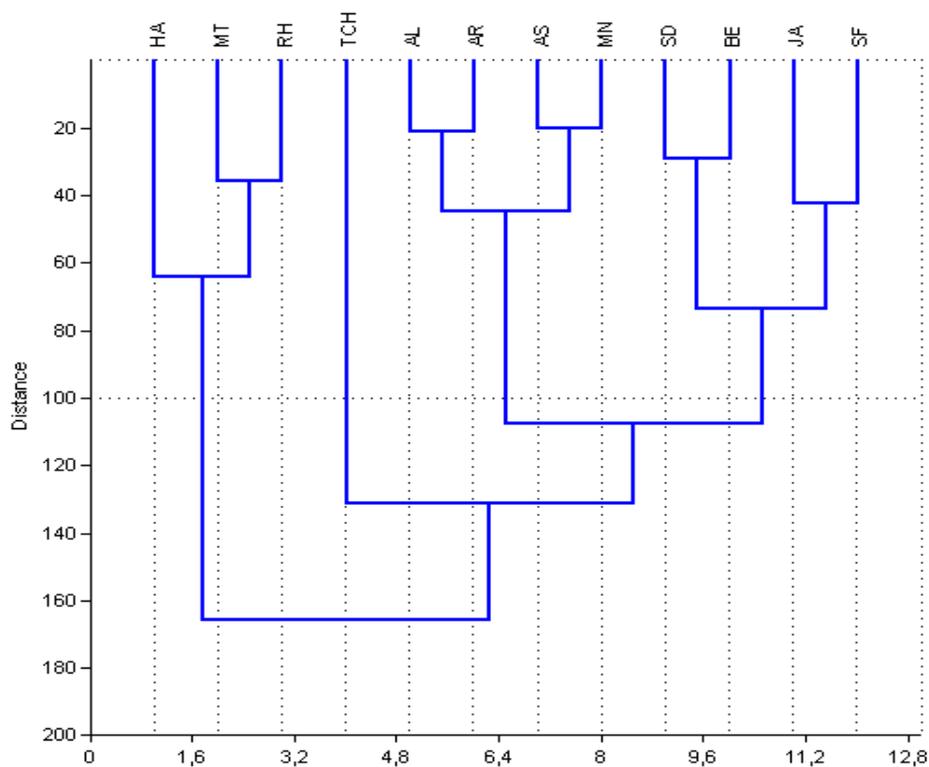


Figure 16. Groupage des géotypes selon l'indice de tolérance des variables mesurées sous stress modéré de 50 mM NaCl (HA = Hamra, MT= Martin, RH = Rihane<sub>03</sub>, TCH= Tichedrett, AL= Alanda, AR= Arig<sub>8</sub>, AS= Assala, MN= Manel, SD= Saïda, BE = Beecher, JA= Jaïdor, SF = Soufara).

Le cultivar Tichedrett qui constitue à lui seul le groupe 2, diverge des autres groupes essentiellement pour les indices de tolérance de la germination et la vitesse de germination (Figure 18). Pour ces deux variables la variété Tichedrett montre une sensibilité élevée vis-à-vis du stress salin modéré qui réduit de plus de 70% de l'expression de ces deux variables. Cette variété se distingue, par contre, par un système racinaire plus important relativement aux autres groupes de variétés et pour le même degré de stress (Figure 18).

Le groupe G<sub>3</sub> montre la meilleure tolérance vis à vis du stress salin modéré et pour toutes les variables mesurées, hormis la longueur du système racinaire pour laquelle la variété Tichedrett se montre la plus tolérante (Figure 18).

Comparativement au groupe G<sub>3</sub>, le groupe G<sub>4</sub> se montre le plus sensible vis-à-vis du stress salin d'intensité modérée suite à la réduction élevée de l'ensemble des variables mesurées, soumises à l'analyse

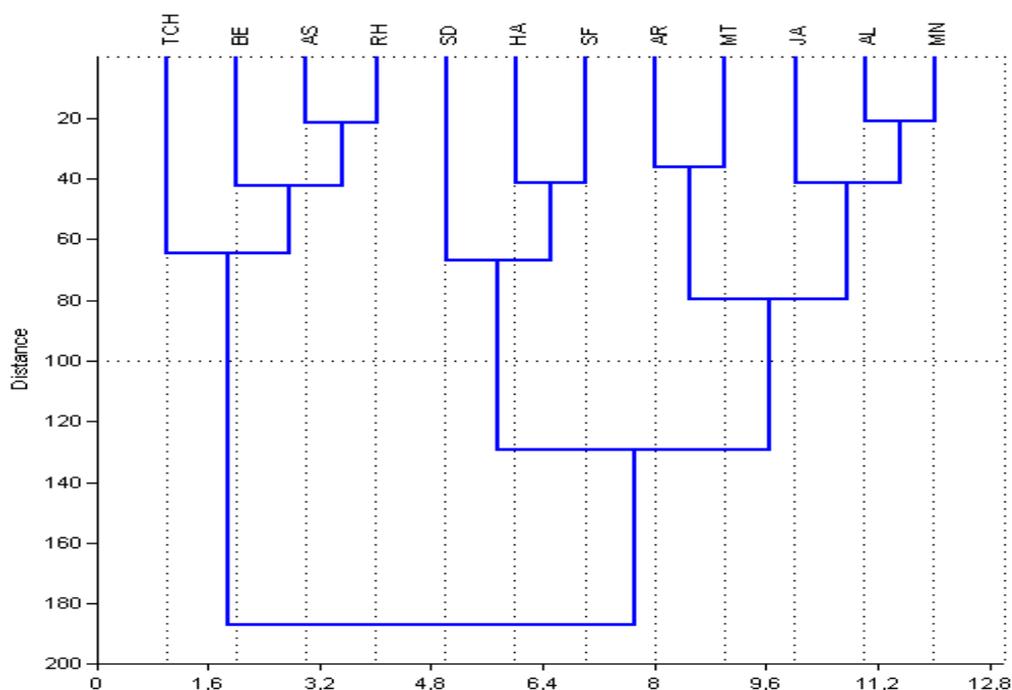


Figure 17. Groupage des géotypes selon l'indice de tolérance des variables mesurées sous stress sévère de 150 mM NaCl (TCH= Tichedrett, BE = Beecher, AS= Assala, RH = Rihane<sub>03</sub>, SD= Saïda<sub>183</sub>, HA = Hamra, SF = Soufara, AR= Arig<sub>8</sub>, MT= Martin, JA= Jaïdor, AL= Alanda, MN= Manel).

Le groupe G<sub>1</sub> prend une position intermédiaire entre les groupes G<sub>3</sub> et G<sub>4</sub>, tout en se montrant plus sensibilité vis-à-vis du stress salin, suite à la réduction de la concentration du K<sup>+</sup> et l'augmentation du Na<sup>+</sup> dans les tiges ce qui conduit à une réduction du ratio K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> des tiges, comportement inverse du groupe G<sub>4</sub> dont la concentration Na<sup>+</sup> racinaire augmente plus (Figure 18, Tableau 9).

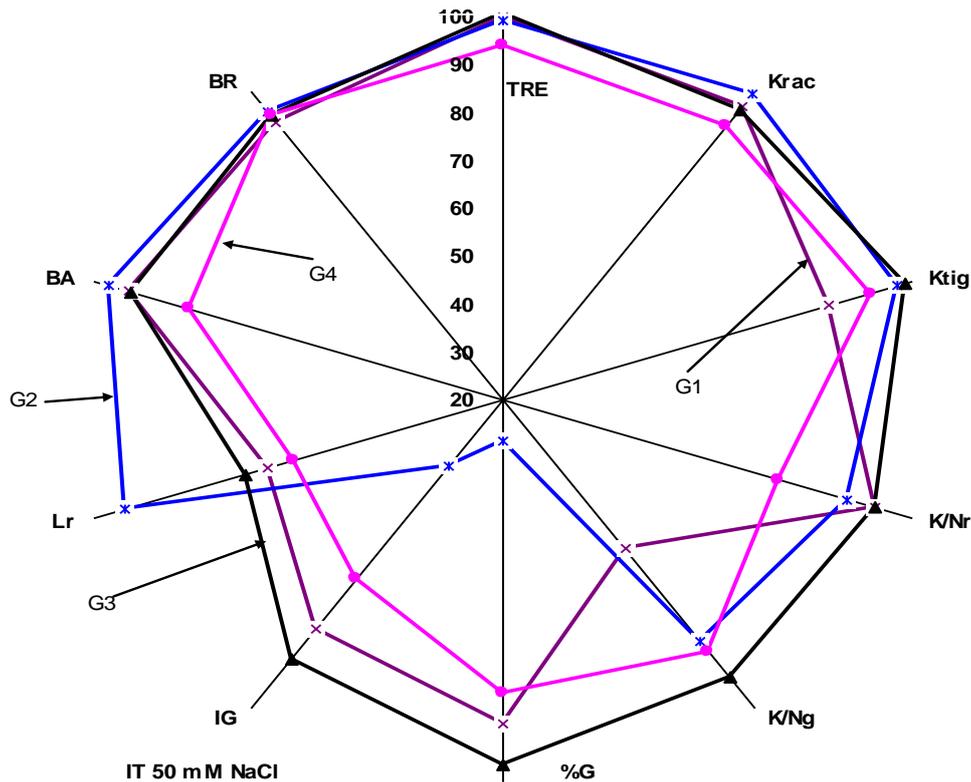


Figure 18. Différences inter groupes pour l'indice de tolérance des variables mesurées sous stress modéré de 50 mM NaCl (G1= Hamra, Martin, Rihane<sub>03</sub>, G2 = Tichedrett, G3= Alanda, Arig<sub>8</sub>, Assala, Manel, G4 = Saïda, Beecher, Jaïdor, Soufara).

Donc sous stress salin modéré, parmi les 13 variables mesurées seuls le % de germination, la vitesse de germination et les concentrations  $K^+$  et  $Na^+$  des racines et des tiges, au stade plantule, discriminent nettement entre les comportements des différents génotypiques. Ainsi au stade germination, c'est le % de germination et la vitesse de germination qui sont indicatrices de la tolérance et pour lesquelles Tichedrett est la variété la moins tolérante dans la présente étude. Au stade plantule, en plus de ces deux paramètres, il y a le maintien de l'accumulation du  $K^+$  et la réduction de l'accumulation du  $Na^+$  dans les tiges et les racines qui induisent la tolérance au stress salin d'intensité modéré. Dans ce cadre les génotypes du groupe G<sub>3</sub> : Alanda, Arig<sub>8</sub>, Assala et Manel sont les plus tolérants (Figure 18).

Sous stress sévère, les trois groupes formés sont Tichedrett, Beecher, Assala, Rihane<sub>03</sub>, pour le groupe G1, le groupe G2 est constitué des variétés Saïda, Hamra, Soufara, et le groupe G3, des variétés Arig<sub>8</sub>, Martin, Jaïdor, Alanda, Manel (Figure 17). Le groupe G1 montre une forte réduction du pourcentage et de la vitesse de germinations associés à la longueur du système racinaire. Donc au stade germination, ces trois variables sont discriminantes du comportement variétal vis à vis du stress salin sévère. Ces mêmes paramètres ne sont pas indicateurs de la sensibilité au stade plantule, vu qu'à ce stade les génotypes du groupe G1 présentent les meilleurs indices de tolérance au stress salin sévère (Figure 19).

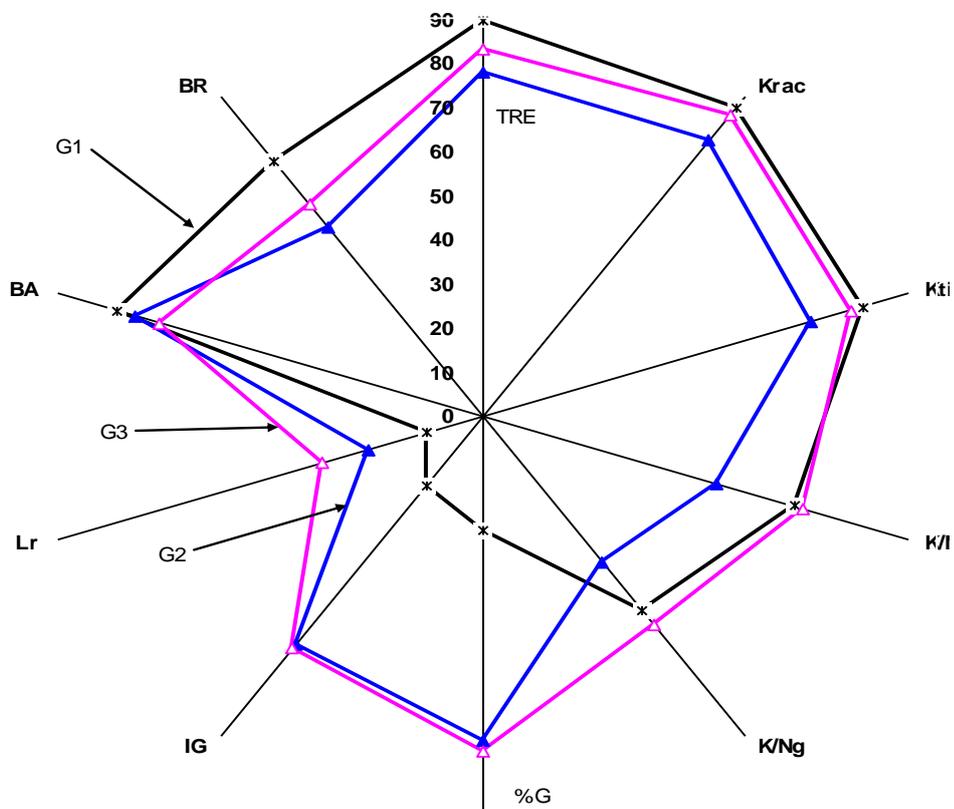


Figure 19. Différences inter groupes pour l'indice de tolérance des variables mesurées sous stress sévère (G1= Tichedrett, Beecher, Assala, Rihane<sub>03</sub>, G2 = Saïda, Hamra, Soufara, G3 = Arig<sub>8</sub>, Martin, Jaïdor, Alanda, Manel).

Au stade plantule, les paramètres relatifs à l'accumulation et la répartition des ions  $K^+$  et  $Na^+$  entre les parties aérienne et racinaire ainsi que la biomasse

accumulée sont les plus révélateurs de la tolérance du stress salin. Au stade plantule, les génotypes des groupes G1 et G3 sont les plus tolérants. Les génotypes du groupe G2 se distinguent surtout par une forte accumulation du Na<sup>+</sup> dans les racines et les tiges conduisant à des ratios K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup><sub>tige</sub> et K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup><sub>racine</sub> inférieurs à ceux mesurés chez le témoin. Les génotypes du groupe G2 Saïda, Hamra, Soufara sont donc très sensibles au stress salin.

La comparaison des comportements génotypiques sous les deux intensités de stress salin identifie des génotypes qui tolèrent la salinité d'intensité modérée aussi bien que sévère. Ces génotypes sont Alanda, Arig<sub>8</sub> et Manel. Des génotypes qui sont résistants à un stage végétatif, puis deviennent sensibles à un autre stade végétatif. Ceci est le cas de Tichedrett qui se montre sensible au stage germination puis tolérante au stade plantule et c'est aussi le cas des cultivars Saïda<sub>183</sub>, Soufara et Hamra qui se montrent moyennement tolérants au stade germination puis deviennent sensibles au stade plantule. La réponse des génotypes tels que Jaïdor, Rihane<sub>03</sub>, Assala, Beecher et Martin est inconsistante en fonction du degré du stress et du stade végétatif (Tableau 9)

**Tableau 9. Classement de la réaction des génotypes à la salinité d'intensité modérée et sévère à la germination et au stade plantule (R= résistant, I= moyennement tolérant, S= sensible).**

| Génotypes  | Germination |     | Plantules |     |
|------------|-------------|-----|-----------|-----|
|            | 50          | 150 | 50        | 150 |
| Alanda     | R           | R   | R         | R   |
| Arig       | R           | R   | R         | R   |
| Assala     | R           | S   | R         | R   |
| Beecher    | I           | S   | S         | R   |
| Hamra      | I           | I   | I         | S   |
| Jaïdor     | I           | R   | S         | R   |
| Manel      | R           | R   | R         | R   |
| Martin     | I           | R   | I         | R   |
| Rihane     | I           | S   | I         | R   |
| Saïda      | I           | I   | S         | S   |
| Soufara    | I           | I   | S         | S   |
| Tichedrett | S           | S   | R         | R   |

#### **4-DISCUSSION GENERALE**

L'orge est une espèce glycophyte qui a évoluée sous des conditions de faible salinité, de ce fait les mécanismes qu'elle a développés pour l'absorption, le transport, la recirculation et l'utilisation des minéraux sont perturbés sous stress salin. En culture pluviale et sous conditions arides, l'installation de la culture est une phase très importante qui conditionne le rendement final de la culture. Cette phase comprend la germination, la levée et l'installation des plantules. Jamil *et al.*, (2005) rapportent que ces stades végétatifs sont très sensibles aussi bien au stress hydrique qu'au stress salin.

Ainsi la germination est fortement affectée sous stress salin (Sharma *et al.*, 2004). Mansour *et al.*, (2005) mentionnent que le stress salin affecte l'accumulation de la matière sèche, l'assimilation chlorophyllienne, l'élongation foliaire et la croissance. Selon Munns *et al.*, (2006), les effets du stress salin varient en fonction de l'âge de la plante, l'organe considéré, la nature des ions associés au sodium et l'intensité du stress salin lui-même. De plus une bonne installation des plantules, sous conditions contraignantes, dépend des capacités génétiques de la variété à tolérer le stress (Maas, 1986 ; Munns *et al.*, 2006). Une importante variabilité génétique de réponses aux stress abiotiques est observée chez les céréales à paille (Gill *et al.*, 2003 ; Sharma *et al.*, 2004).

La variation intra spécifique pour la tolérance au stress salin est très documentée et de nombreuses études ont montré l'existence de génotypes tolérants et d'autres sensibles au sel chez une même espèce sur la base d'essais de germination et de la croissance des plantules (Khan *et al.*, 1997 ; Mondal *et al.*, 1988; Huang et Redmann, 1995). Xue *et al.*, (2004) mentionnent que le stress salin affecte la germination suite aux effets de toxicité des ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> qui s'accumulent dans les tissus cellulaires et aux effets du déficit hydrique qu'ils

engendrent dans le milieu extérieur. Les résultats de la présente étude indiquent que la réponse de l'orge à la salinité varie en fonction du génotype et du degré d'intensité du stress.

Le % de germination baisse graduellement, en moyenne de l'ensemble des génotypes évalués, à une vitesse de 2.23% pour chaque augmentation de la salinité de 10 mM NaCl. Le taux de germination baisse de 50% pour un stress salin d'une intensité de 159.04 mM. Selon Maas et Hoffman (1977), l'orge est une espèce tolérante au stress salin, comparativement aux blés, pour des seuils qui peuvent aller jusqu' à 250 mM NaCl, soit l'équivalent de 50% de la salinité de l'eau de mer.

Les génotypes relativement tolérants sont Manal, Jaïdor, Alanda et Hamra et les plus sensibles sont Tichedrett et Beecher qui accusent de fortes de baisse du pourcentage de germination. Ces résultats corroborent ceux de Alam *et al.*, (2005) qui mentionnent que le taux de germination baisse significativement à mesure que la concentration du sel augmente chez la plupart des génotypes de riz, et que les différences génotypiques deviennent plus évidentes au-dessus du seuil du 50 mM NaCl.

Khan *et al.*, (1997), Hchifa et Issaoui, (1999), Ben Naceur *et al.*, (2001) ainsi que Hezam et Melaouhia (2006) rapportent que le taux de germination est réduit de 44,1% sous stress intense comparativement au témoin, chez la plupart des variétés testées. Jaïdor, Alanda, Hamra et Manel présentent des vitesses de germination, les plus élevées, variant de 14.8 à 19.7% jour<sup>-1</sup>. Tichedrett, Beecher et Assala montrent les plus faibles vitesses de germination, inférieur à 9.5% jour<sup>-1</sup>. Les différences de vitesse de germination, entre génotypes, sont plus importantes en l'absence de stress, elles s'amenuisent à mesure que le stress salin s'intensifie.

Ces résultats rejoignent ceux de Madidi *et al.*, (2004) qui mentionnent que les glycophytes, comme d'ailleurs les halophytes, répondent de manière similaire au stress salin, en réduisant le nombre de graines germées par jour et en accusant un retard dans l'initiation du processus de germination. Zhao *et al.*, (2007) notent aussi que la salinité affectait le taux de germination, la croissance des plantules et le ratio tige : racine qui diminuaient en fonction du degré de salinité, chez l'avoine.

Certains génotypes perdent complètement leur capacité de germer dès le seuil de 250 mM de salinité, comparativement à d'autres génotypes qui, pour le même degré de stress, affichent un taux de germination supérieur à 50%, suggérant une grande variabilité génotypique de réponse au stress salin (Zhao *et al.*, 2007). Le stress salin affecte aussi la durée de germination qui est plus longue pour obtenir un taux de germination optimal. Sous stress salin le développement en longueur des racines est plus important que celui des tiges, engendrant une réduction du ratio de la longueur de la tige : longueur des racines (Zhao *et al.*, 2007).

La longueur du coléoptile est réduite à mesure que le degré de stress salin augmente en intensité. Les moyennes passent de 2.5 mm en l'absence de stress à 1.5 mm en présence de 150 mM de NaCl. On note aussi le même effet sur la longueur des racines, dont la moyenne diminue de 35.4 mm, en absence de sel, à 8.3 mm en présence de 150mM de NaCl. Assala et Beecher présentent une meilleure capacité d'élongation racinaire en l'absence de stress salin. Tichedrett et Soufara réduisent fortement la longueur de leur système racinaire sous forte salinité. Le suivi de la matière sèche accumulée dans les tiges montre différents comportements génotypiques. Soufara, Jaïdor, Assala, Manel, Saïda et Arig<sub>8</sub> réduisent l'accumulation de la matière sèche graduellement en fonction de l'intensité du stress.

Parmi ces géotypes Soufara et Jaïdor sont les plus sensibles. Soufara perd 39% de sa capacité à accumuler la matière sèche contre 28% pour Jaïdor. Le second comportement est représenté par Beecher, Hamra et Rihane<sub>03</sub> qui montrent une relative tolérance sur toute l'échelle de la contrainte saline étudiée. Beecher réduit de 21 % sa capacité d'accumulation la matière sèche dans la tige, contre 18% pour Hamra et 16% pour Rihane<sub>03</sub>. Tichedrett, Martin et Alanda sont tolérants aux stress d'intensités faibles à modérés puis deviennent très sensibles sous contrainte saline élevée, avec des réductions variant entre 21 et 50% de la matière sèche accumulée en l'absence de stress salin.

Pour la matière allouée aux racines, Rihane<sub>03</sub> se montre relativement le moins sensible à la salinité, diminuant de sa capacité de 14%, sous stress sévère, contre 31% pour Tichedrett et 37% pour Hamra qui sont les plus sensibles. Martin, Alanda, Assala et Manel se montrent très sensibles sur toute l'échelle de la salinité testée, perdant 38% à 55% de leur capacité sous stress sévère. La croissance chez les plantes est largement dépendante de l'activité photosynthétique et de la durée de vie de la feuille. La réduction de la croissance de la plante induite par le stress salin est due en partie à la réduction de l'activité photosynthétique qui fait suite à la sénescence foliaire.

Zhu *et al.*, (2001) mentionnent que, sous stress salin, la sénescence foliaire est indicatrice du désassemblage de l'appareil photosynthétique conduisant à une réduction des activités photochimiques des centres réactionnels PSI et PSII. Le rapport BIO Racine/BIO Aérienne est toujours inférieur à 1, ce qui montre que la masse de matière sèche des feuilles est plus élevée que celle des racines. Ce paramètre augmente avec la salinité. Cela veut dire, qu'en présence de sel, la croissance pondérale des racines devient supérieure à celle des feuilles.

Les génotypes étudiés diffèrent pour la surface de la feuille étendard. Soufara, une orge à 2 rangs, montre la surface de la feuille étendard la plus petite, alors que Beecher et Martin présentent les surfaces les plus importantes. En moyenne sur l'ensemble des génotypes, la surface de la feuille étendard est réduite de 50%, sous stress salin sévère. Les différentes variétés réagissent différemment au stress salin pour la teneur relative en eau foliaire. Les génotypes Alanda, Assala, Hamra et Tichedrett minimisent la baisse de la TRE sous les différents niveaux de stress salins testés.

Ces génotypes montrent une réduction, sous stress sévère, qui reste inférieure à 10% de la valeur mesurée en l'absence de stress. Par contre Jaïdor, Martin, Rihane<sup>03</sup> et Saïda<sup>183</sup> se montrent sensibles au stress sévère, où ils enregistrent de fortes réductions de la TRE, variant de 13 à 33%. Arig<sup>8</sup>, Beecher et Soufara se montrent sensibilité dès le seuil de 100 mM NaCl.

Sous l'effet du stress salin l'accumulation du  $K^+$  diminue plus dans les tiges que dans les racines. Il en est de même pour l'accumulation du  $Na^+$  qui s'accumule plus dans les tiges que dans les racines sous l'effet du stress salin. Quel que soit le degré de stress salin, l'accumulation du  $K^+$  et du  $Na^+$  est quantitativement deux fois plus importante dans les tiges que dans les racines des plantules étudiées.

L'accumulation du  $K^+$  est réduite dans les racines de 19% sous l'effet du stress salin sévère. Dans la tige la réduction de l'accumulation du  $K^+$  est de 22%. Par contre l'accumulation du  $Na^+$  augmente de 36% dans les racines, contre 44% dans les tiges, sous stress sévère. Le ratio  $K/Na$  est réduit de 40% dans les racines et de 46% dans les tiges. Jaïdor et Hamra se distinguent par leur capacité à accumuler plus de  $K^+$  dans les racines sur toute l'échelle de la salinité étudiée. L'accumulation du  $K^+$  dans les racines de ces génotypes est insensible à la salinité.

Ceci rejoint les résultats de Haoula *et al.*, (2007) qui rapportent le même phénomène chez le ray- grass.

Dans les tiges les différences d'accumulation du  $K^+$  sont plus importantes entre génotypes et entre stress salins. Jaïdor et Hamra, à l'inverse de leur comportement du point de vue accumulation du  $K^+$  dans les racines, montrent une faible capacité d'accumuler le potassium dans les tiges, sous stress salin. Par contre les génotypes Saïda<sub>183</sub>, Alanda et Tichedrett accumulent d'importantes quantités de  $K^+$  sur toute l'échelle de la salinité étudiée. Le génotype Rihane<sub>03</sub> est celui qui réagit le plus au stress salin, sa capacité d'accumuler le  $K^+$  est graduellement réduite sous l'effet du stress salin.

Jaïdor et Hamra accumulent plus de  $Na^+$  dans les racines et moins dans les tiges, occupant les positions extrêmes parmi les génotypes étudiés. La capacité d'accumulation du  $Na^+$  augmente, sous l'effet du stress salin, sensiblement plus dans les racines que dans les tiges. Le ratio  $K/Na$  des racines est réduit plus, sous l'effet du stress salin, chez Soufara, Beecher, Jaïdor et Hamra que chez Rihane<sub>03</sub> et Martin. Tichedrett et Manel montrent aussi une faible réduction de ce ratio. Pour le ratio  $K/Na$  des tiges, on note le comportement contrasté des génotypes Jaïdor et Hamra qui se distinguent par un ratio plus élevé relativement aux ratios des autres variétés étudiées.

Selon Haoula *et al.*, (2007), sous des concentrations dépassant le seuil de 50 mM NaCl, la salinité réduit nettement les teneurs en potassium du feuillage et des racines du ray-grass. Une différence de sensibilité entre la feuille et les racines est notée par Haoula *et al.*, (2007) chez le ray-grass, où les feuilles réduisent plus sensiblement leur concentration en  $K^+$ , alors que les racines maintiennent leur absorption inchangée, sous stress salin modéré.

Selon Srivastava *et al.*, (1998), la tolérance vis-à-vis du stress salin est liée à la capacité d'absorption sélective du  $K^+$  relativement au  $Na^+$  et au contenu en chlorophylle. L'accumulation des ions  $Na^+$  affecte l'absorption de  $K^+$ , selon Ehret *et al.*, (1990) une concentration cellulaire élevée en  $Na^+$  diminue l'absorption de  $K^+$  par la plante et même celle du  $Ca^{2+}$ . Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible de la réduction de la croissance sous stress salin. Les céréales sont sensibles à l'insuffisance en  $Ca^{2+}$  (Ehret *et al.*, 1990).

Gorham *et al.*, (1997) mentionnent que la tolérance au stress salin prend la forme d'une exclusion de l'ion sodium de la partie aérienne chez certains génotypes alors que chez d'autre elle prend la forme d'une limitation du transport de cet ion vers les jeunes tissus en pleine multiplication. D'après Greenway et Munns (1980), l'orge transporte et accumule de grandes quantités de  $Na^+$  dans leurs feuilles. Les génotypes incapables de compartimenter le  $Na^+$  dans leurs feuilles sont plus sensibles. La forte concentration cytoplasmique du  $Na^+$  est l'une des causes de la sensibilité au niveau cellulaire (Zid et Grignon, 1989).

Selon Willenborg *et al.*, (2004), les teneurs élevées en  $K^+$  des feuilles et des racines sont corrélées avec la tolérance au sel. Al-Karaki (2001) mentionne que l'augmentation du  $Na^+$  et la réduction du  $K^+$  fait suite à la compétition qui s'instaure entre ces deux ions au niveau des sites d'absorption. La réduction de l'absorption du  $K^+$  est à l'origine de la diminution de la croissance et de la réduction de la capacité d'ajustement de la plante et de la turgescence (Othman, 2005). Haq *et al.*, (2003) observent que la concentration du  $Na^+$  augmente avec la salinité pour atteindre le facteur de 13.3 comparativement à la concentration observée en absence de salinité. La concentration du  $Na^+$  dans les tissus cellulaires cause des dommages à la membrane cellulaire

## *CONCLUSION*

Les résultats de la présente étude indiquent que la réponse de l'orge à la salinité varie en fonction du génotype et du degré d'intensité du stress. Le % de germination baisse graduellement, en moyenne de l'ensemble des génotypes évalués, à une vitesse de 2.23% pour chaque augmentation de la salinité de 10 mM NaCl. Le taux de germination baisse de 50% pour un stress salin d'une intensité de 159.04 mM. Les génotypes relativement tolérants sont Manal, Jaïdor, Alanda et Hamra et les plus sensibles sont Tichedrett et Beecher qui accusent de fortes de baisse du pourcentage de germination. Jaïdor, Alanda, Hamra et Manel présentent des vitesses de germination, les plus élevées, variant de 14.8 à 19.7% jour<sup>-1</sup>. Tichedrett, Beecher et Assala montrent les plus faibles vitesses de germination, inférieur à 9.5% jour<sup>-1</sup>.

La longueur du coléoptile est réduite à mesure que le degré de stress salin augmente en intensité. Les moyennes passent de 2.5 mm en l'absence de stress à 1.5 mm en présence de 150 mM de NaCl. On note aussi le même effet sur la longueur des racines, dont la moyenne diminue de 35.4 mm, en absence de sel, à 8.3 mm en présence de 150mM de NaCl. Tichedrett et Soufara réduisent fortement la longueur de leur système racinaire sous forte salinité. Le suivi de la matière sèche accumulée dans les tiges montre différents comportements génotypiques. Soufara, Jaïdor, Assala, Manel, Saïda et Arig<sub>8</sub> réduisent l'accumulation de la matière sèche graduellement en fonction de l'intensité du stress.

Le second comportement est représenté par Beecher, Hamra et Rihane<sub>03</sub> qui montrent une relative tolérance sur toute l'échelle de la contrainte saline étudiée. Beecher réduit de 21 % sa capacité d'accumulation la matière sèche dans la tige, contre 18% pour Hamra et 16% pour Rihane<sub>03</sub>. Tichedrett, Martin et Alanda sont tolérants aux stress d'intensités faibles à modérés puis deviennent très sensibles

sous contrainte saline élevée, avec des réductions variant entre 21 et 50% de la matière sèche accumulée en l'absence de stress salin.

Pour la matière allouée aux racines, Rihane<sub>03</sub> se montre relativement le moins sensible à la salinité, diminuant de sa capacité de 14%, sous stress sévère, contre 31% pour Tichedrett et 37% pour Hamra, qui sont les plus sensibles. Martin, Alanda, Assala et Manel se montrent très sensibles sur toute l'échelle de la salinité testée, perdant 38% à 55% de leur capacité sous stress sévère.

En moyenne sur l'ensemble des génotypes, la surface de la feuille étendard est réduite de 50%, sous stress salin sévère. Les différentes variétés réagissent différemment au stress salin pour la teneur relative en eau foliaire. Les génotypes Alanda, Assala, Hamra et Tichedrett minimisent la baisse de la TRE sous les différents niveaux de stress salins testés. Ces génotypes montrent une réduction, sous stress sévère, qui reste inférieure à 10% de la valeur mesurée en l'absence de stress. Par contre Jaïdor, Martin, Rihane<sub>03</sub> et Saïda<sub>183</sub> se montrent sensibles au stress sévère, où ils enregistrent de fortes réductions de la TRE, variant de 13 à 33%.

L'accumulation du K<sup>+</sup> est réduite dans les racines de 19% sous l'effet du stress salin sévère. Dans la tige la réduction de l'accumulation du K<sup>+</sup> est de 22%. Par contre l'accumulation du Na<sup>+</sup> augmente de 36% dans les racines, contre 44% dans les tiges, sous stress sévère. Le ratio K/Na est réduit de 40% dans les racines et de 46% dans les tiges. Jaïdor et Hamra se distinguent par leur capacité à accumuler plus de K<sup>+</sup> dans les racines sur toute l'échelle de la salinité étudiée.

## ***REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES***

1. Abbas, K., A. Abdelguerfi. 2008. Evaluation of a regenerated natural meadow in a semi -arid area of Algeria. *Option Méditerranéenne série A*, 79: 179-185.
2. Adjabi, A., H. Bouzerzour, A. Benmahammed. 2014. Stability analysis of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) grain yield. *Journal of Agronomy*, 13: 131-139.
3. Akhtar, S., A. Wahid, E. Rasul. 2003. Emergence growth and nutrient composition of sugarcane sprouts under NaCl salinity. *Biologia Plantarum*, 46 : 113-116.
4. Al-Karaki, G.N. 2001. Germination, sodium and potassium concentration of barley seeds as influenced by salinity. *J. Plant Nutr.*, 24: 511-522.
5. Alam, M.Z., T. Stichbury, R.E.L. Naylor. 2005. Early identification of salt tolerant genotypes of rice (*Oriza sativa* L.) using controlled deterioration. *Exp. Agric.*, 42: 65-77.
6. Almansouri, M., JM. Kinet, S. Lutts. 1999. Compared effects of sudden and progressive impositions of salt stress in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars. *J. Plant Physiol.*, 154: 743-752.
7. Almansouri, M., JM. Kinet, S. Lutts. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil*, 231: 243-254.
8. Arous, JL., T. Ali Dib, M. Nachit. 1998. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean condition. *Field crops Res.*, 55: 209-224.

9. Ashraf, M.A., M. Ashraf, M. Shahbaz. 2012. Growth stage-based modulation in antioxidant defense system and proline accumulation in two hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salinity tolerance. *Flora*, 207: 388–397.
10. Aslam, M., R.H. Qureshi, N. Ahmad, S. Nawaz. 1990. Effect of different external K/Na and Ca/Na ratios on growth, ionic composition and selectivity of rice lines varying in salt tolerance. *Pak. J. Agric. Sci.*, 27(4): 436 – 445.
11. Badger, K.S., I. A. Ungar, 1990. Effects of soil salinity on growth and ion content of the inland halophyte *Hordeum jubatum*. *Botanical Gazette*, 151(3), 314-321.
12. Bahieldin, A., I.A. Ahmed, G.A. Gad El-Karim, H.F. Eissa, H. T. Mahfouz, O.M. Saleh. 2006. DGGE-RAPD analysis as a useful tool for cultivar identification. *African Journal of Biotechnology*, 5(8): 566-569.
13. Bajji, M., J.M. Kinet, S. Lutts. 2002. Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* (*Chenopodiaceae*). *Canadian Journal of Botany*, 80: 297–304.
14. Ball, M. C., J. M. Anderson. 1986. Sensitivity of photosystem II to NaCl in relation to salinity tolerance. Comparative studies with the thylakoids of the salt-tolerant mangrove, *Avicennia marina*, and the salt-sensitive pea, *Pisum sativum*. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13 : 689–698.
15. Ben Naceur, M., C. Rahmoune, H. Sdiri, M.L. Meddhi, M. Selmi. 2001. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés magrébines de blé. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 12(3) : 167-174.
16. Benderradji, L., F. Brini, K. Kellou, N. Ykhlef, A. Djekoun, K. Masmoudi, H. Bouzerzour. 2012. Callus induction, proliferation, and plantlets regeneration of

two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under saline and heat stress conditions. Int. Schol. Res. Net. Agronomy, 367851, 8p.

17. Benmahammed, A., A. Djekoun, H. Bouzerzour, K.L. Hassous. 2005. sélection multi-caractères pour améliorer le niveau et la stabilité du rendement de l'orge en zone semi- aride. Science & Technologie, 32 : 27-33.

18. Benmahammed, A., M. Kribaa, H. Bouzerzour, A. Djekoun. 2008. Relationships between F2, F3 and F4-derived lines for above ground biomass and harvest index of three barley (*Hordeum vulgare* L.) crosses in a Mediterranean-type environment. Agricultural Journal, 3: 313-318.

19. Benmahammed, A., M. Kribaa, H. Bouzerzour, A. Djekoun. 2010. Assessment of stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) advanced breeding lines under semi arid conditions of the eastern high plateaus of Algeria. Euphytica, 172: 383-394.

20. Blum, A., B. Johnson. 1992. Transfer of water from roots into dry soil and the effect of wheat water relations and growth. Plant and Soil, 145: 141-149.

21. Borlaug, N.E. 2007. Sixty-two years of fighting hunger: personal recollections. Euphytica, 157: 287–297.

22. Borlaug, N.E., C.R. Dowsell. 2005. Feeding a world of ten billion people: a 21<sup>st</sup> century challenge. In: Tuberosa R, Phillips RL, Gale M, eds. In the wake of the double helix: from the green revolution to the gene revolution. Bologna, Italy: Avenue Media, 3–24.

23. Bouzerzour H., M. Dekhili. 1995. Heritability, gain from selection and genetic correlation for yield of barley grown in two contrasting environments. Field Crops Res., 41:173-178.

24. Bouzerzour, H., A. Djekoun, A. Benmahammed, K.L. Hassous. 1998. Contribution de la biomasse aérienne de l'indice de récolte et de la précocité à

l'épiaison au rendement grain (*Hordeum vulgare* L.) en zone d'altitude. Cahiers de l'Agriculture, 8: 133-137.

25. Bouzerzour, H., A. Benmahammed, N. Benkharbache, K.L. Hassous. 2002. Contribution des nouvelles obtentions à l'amélioration et à la stabilité du rendement d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. Recherche Agronomique, INRAA, 10 : 45-58.

26. Bresler, E., B.L. Mc Neal, D.L. Carter. 1982. Saline and sodic soils: principles, dynamics, modeling. Springer Verlag, New York. 236 pp.

27. Brini, F., M. Hanin, I. Mezghanni, G. Berkowitz, K. Masmoudi. 2013. Overexpression of wheat Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiporter TNHX1 and H<sup>+</sup>-pyrophosphatase TVP1 improve salt and drought stress tolerance in Arabidopsis thaliana plants. J. Exp. Bot., 58: 301-308.

28. Byrt, C. S., J.D. Platten, W. Spielmeier R.A. James, E.S. Lagudah, E.S. Dennis, M. Tester, R. Munns. 2007. HKT1;5-Like Cation Transporters Linked to Na<sup>+</sup> Exclusion Loci in Wheat, *Nax2* and *Kna1*. Plant Physiology, 143: 1918-1928.

29. C.I.I.A.F (Comité Inter-Instituts D'Étude des Techniques Analytiques du Diagnostic Foliaire) 1969. Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux I. Azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium. L'agronomie tropicale, vol. XXIV, N°9 pp: 827-835.

30. Carden, D.E., D.J. Walker, T.J. Flowers, A.J. Miller. 2003. Single-cell measurements of the contributions of cytosolic Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> to salt tolerance. Plant Physiology, 131(2): 676–683.

31. Ceccarelli, S. 2010. Plant breeding and climate change. In Ceccarelli, S. and Grando, S. (eds) 2010. Proceedings of the 10th International Barley Genetics Symposium, 5-10 April 2008, Alexandria, Egypt, 16-29.

32. Ceccarelli, S., S. Grando, A. Impiglia. 1998. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. *Euphytica*, 103 : 307-318.
33. Chaabane, R., M. El Felah, H. Ben Salah, M. Ben Naceur, C. Abdelly, D. Ramla, A. Nada, M. Saker. 2009. Molecular Characterization of Tunisian Barley (*Hordeum Vulgare* L.) Genotypes using Microsatellites (SSRs) Markers. *European Journal of Scientific Research* 36: 6-15.
34. Chapman, H.D., F.F. Pratt. 1961. Methods of analysis for soils, plants, and waters Univ. of California Eds, 230 p.
35. Chaves, M.M., M.M. Oliveira. 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany* 55: 2365–2384.
36. Cramer G., E. Epstein, A. Läuchli. (1989). Na-Ca interactions in barley seedlings: relationship to ion transport and growth. *Plant, Cell and Environment*, 5(12): 551-558.
37. Cramer G., E. Epstein, A. Läuchli. 1990. Effects of sodium, potassium and calcium on salt-stressed barley. *Physiologia Plantarum*, 80: 83–88.
38. Cropstat 7.2. 3. 2009. Free Statistics Package by IRRI, Manila, Philippines.
39. Curtis, P.S., A. Lauchli, 1987. The effect of moderate salt stress on leaf anatomy in *Hibiscus cannabinus* (Kenaf) and its relation to leaf area. *American journal of botany*, 74(4): 538–542.
40. Ehret, D.L., R.E. Redman, B.L. Harvey, A. Cipywnyk. 1990. Salinity – induced calcium deficiencies in wheat and Barley. *Plant and Soil*, 128, 143-151.
41. El- Hendawy, S.E., Y. Hua, G.M. Yakout, A.M. Awad, S.E. Hafiz, U. Schmidhalter. 2005. Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. *Europ. J. Agronomy*, 22: 243-253.

42. El-Hendawy, S.E., Y. Hu, U. Schmidhalter. 2005. Growth, ion content, gas Exchange and water relations of wheat genotypes differing in salt tolerance. *Aust. J. Agric. Res.* 56 : 123-134.
43. Ellis, R.H., T.D. Hong, E.H. Roberts. 1990. Effects of moisture content and methods of rehydration on the susceptibility of pea seeds to imbibition damage. *Seed Sci. Technology*, 18: 131-137.
44. Flexas, J., A. Diaz-Espejo, J. Galmés, R. Kaldenhoff, H. Medrano, M. Ribas-Carbo. 2007. Rapid variations of mesophyll conductance in response to changes in CO<sub>2</sub> concentration around leaves. *Plant, Cell and Environment*, 30:1284-1298.
45. Flowers, T.J., A.R. Yeo. 1995. Breeding for salinity resistance in crop plants: where next? *Australian Journal of Plant Physiology*, 22 (6): 875-884.
46. Flowers, T. J., M.A. Hajibagheri. 2001. Salinity tolerance in *Hordeum vulgare* : ion concentration in root cell of cultivars differing in salt tolerance. *Plant Soil*, 213: 1-9.
47. Flowers, T.J., S.A. Flowers. 2005. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? *Agricultural Water Management*, 78:15-24.
48. Flowers, T.J., P.F. Troke, A.R. Yeo. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, 28: 89-121.
49. Flowers, T. J., M.A. Hajibagheri, A.R. Yeo. 1991. Ion accumulation in the cell walls of rice plants growing under saline conditions: evidence for the Oertli hypothesis. *Plant Cell Environ.*, 14(3): 319-325.
50. Flowers, T.J., A. Garcia, M. Koyama, A.R. Yeo. 1997. Breeding for salt tolerance in crop plants – the role of molecular biology. *Acta physiological Plantarium*, 19(4): 427-433.

51. Franco, J.A., C. Esteban, C. Rodriguez. 1993. Effects of salinity on various growth stages of muskmelon cv. Revigal. J. Hort. Sci., 68: 899-904.
52. Frans, J., Maathuis, M. D. Sanders. 2001. Sodium uptake in Arabidopsis roots is regulated by cyclic nucleotides. Plant Physiol. 127: 1617-1625.
53. Gill, P.K., A.D. Sharma, P. Singh, S.S. Bhullar. 2003. Changes in germination, growth and soluble sugar contents of *Sorghum bicolor* (L.) Moench seeds under various abiotic stresses. Plant Grow. Reg., 40: 157-62.
54. Gorham, J., 1992. Salt tolerance in plants. Sci. Progr. 76: 273-285.
55. Gorham, G., J.R. Wyn Jones, A. Brstol. 1990. Partial characterization of the trait for enhanced K, Na discrimination in the D genome of wheat. Planta, 180: 590-597.
56. Gorham, J., J. Bridges, J. Dubcovsky, J. Dvorak, P.A. Hollington, M.C. Luo, J.A. Khan. 1997. Genetic analysis and physiology of a trait for enhanced K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> discrimination in wheat. New Phytologist, 137: 109-116.
57. Greenway, H. 1962. Plant responses to saline substrates. I. Growth and ion uptake of several varieties of *Hordeum* during and after sodium chloride treatment. Aust. J. biol. Sci., 5: 16-38.
58. Greenway, H. 1973. Salinity, plant growth and metabolism. J. Aust. Agric. Sci., 39: 24-34.
59. Greenway, H., R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Annu. Rev. Plant. Physiol., 31: 49-90.
60. Hakimi, M. 1989. Les systèmes traditionnels basés sur la culture de l'orge. Proc. Symp. On the agrometeorology of rainfed barley based farming systems. Eds. WMO/ ICARDA pp:179-183.

61. Hamdy, A., M. Lasram, C. Lacirignola. 1995. Les problèmes de la salinité dans les zones méditerranéenne. CR Acad. Agric. Fr., 2: 47-60.
62. Hammer, Ø., D.A.T. Harper, P.D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia, Electronica, 4: 1-9.
63. Haouala, F., H. Ferjani, S. Ben El Hadj. 2007. Effet de la salinité sur la répartition des cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$ ) et du chlore ( $\text{Cl}^-$ ) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 11(3) : 235-244.
64. Haq, T., K. Mahmood, A. Shahzad, J. Akhtar, 2003. Tolerance potential of wheat cv. lu-26s to high salinity and water logging interaction. J. Agric. Biol., 23: 162-165.
65. Harlan, JR. 1975. Crops and man. ASA and CSSA, Eds. Madison, Wisconsin, 325 p.
66. Hchifa, H., Issaoui, M. 1999. Etude comparative de la tolérance à la salinité chez les graminées au stage germination. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en biologie végétale, option amélioration des plantes. Centre Universitaire Cheikh Larbi Tebessi, Tébessa, Algérie, 41p.
67. He, T., G.R. Cramer. 1992. Growth and mineral nutrition of six rapid-cycling *Brassica* species in response to seawater salinity. Plant Soil, 139 : 285-294.
68. Hezam F., W. Melaouhia. 2006. Etude comparative de la réponse des plantules de deux génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et deux génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) au stress salin. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en biologie végétale, option

amélioration des plantes. Centre Universitaire Cheikh Larbi Tebessi, Tébessa, Algérie, 50p.

69. Hollaender, A. (Ed). 1979. The biosaline concept: an approach to the utilization of underexploited resources. New York, New York: Plenum Press, 391 p.

70. Hollington, P.A., 1998. Technological breakthroughs in screening and breeding wheat varieties for salt tolerance. In: Gupta, S.K., Sharma, S.K., Tyagi, N.K. (Eds.), Proceedings of the National Conference on Salinity Management in Agriculture, CSSPI, Karnal, India, pp. 273-289.

71. Hosseini, M.K., A.A. Powell, I.J. Bingham. 2002. Comparison of the seed germination and early seedling growth of soybean in saline conditions. Seed Science Research, 12: 165-172.

72. Huang, J., R.E. Redman. 1995. Response of growth, morphology and anatomy to salinity and calcium supply in cultivated and wild barley. Canadian Journal of Botany 73 : 1859-866.

73. Huang, Y., G. Zhang, F. Wu, J. Chen, M. Zhou. 2006. Differences in physiological traits among salt-stressed barley genotypes. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 37: 557-570.

74. Isla, R., R. Aragues, A. Royo. 1998. Validity of various physiological traits as screening criteria for salt tolerance in barley. Field Crops Research, 58: 97-107.

75. Jackson, P., M. Robertson, M. Cooper, G.L. Hammer. 1996. The role of physiological understanding in plant breeding; from a breeding perspective. Field Crop Res. 49 : 11-37.

76. James, R. A., R. Davenport, R. Munns. 2006. Physiological characterization of two genes for Na<sup>+</sup> exclusion in wheat: *Nax1* and *Nax2*. Plant Physiol, 142: 1537-1547.

77. Jamil, M., C.C. Lee, S. Rehman, D.B. Lee, M. Ashraf, E.S. Rha, 2005. Salinity (NaCl) tolerance of *Brassica* species at germination and early seedling growth. *Electronic J. Environ. Agric. Food Chem.*, 4: 970-976.
78. Jenks, M.A., P.M. Hasegawa, S.M. Jain. 2007. *Advances in Molecular Breeding toward Drought and Salt Tolerant Crops: Plant Growth and Development Under Salinity Stress*. Springer. The Netherlands 1-32.
79. Karim, K., A. Rawda, C.M. Hatem. 2009. Genetic diversity in Tunisian local barley on RADP and SSR analysis. *Biological Diversity and Conservation*, 2: 27-35.
80. Karrou M., R. Haffid, D.N. Smith, K. Samir. 1998. Roots and shoot growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early-season drought. *Agronomie*, 18: 181-186.
81. Keiffer C.H., I. A. Ungar. 1997. The effect of extended exposure to hypersaline conditions on the germination of five inland halophyte species. *American Journal of Botany*, 84: 104-111.
82. Khan, M. A., B. Gul, D.J. Weber. 2000. Germination responses of *Salicornia rubra* to temperature and salinity. *Journal of Arid Environments*, 45: 207-214.
83. Khan, M.S.A., A. Hamid, A.B.M. Salahudiin, A. Quasem, M.A. Karim. 1997. Effect of NaCl on growth photosynthesis and mineral ions accumulation of different types of rice. *J. Agro. Crop Sci.* 179: 149-161.
84. Lawlor, D.W., G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ.*, 25 : 275-294.
85. M.A.D.R.P. 2006. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural et de la Pêche. *Annuaire statistique*.

86. Maas, E.V. 1986. Salt tolerance of plants. Applied Agricultural Research, 1: 12-26.
87. Maas, E.V., G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance, current assessment. J. Irrig. Drain. Div. ASCE, 103: 115- 134
88. Maas, E.V., J.A. Poss. 1989. Salt sensitivity of wheat at different growth stages. Irrigation Sciences, 10: 29-40.
89. Madidi, S., B. El Baroudi, F. Bani Aameur. 2004. Effects of salinity on germination and early growth of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. Int. J. Agri. Biol., 6: 767-770.
90. Maguire, J.D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seed vigour. Crop Sci., 2 :176-177.
91. Mandal, AB, SC. Pramanik, B. Chowdhury, AK. Bandyopadhyay. 1999. Salt-tolerant Pokkali somaclones: performance under normal and saline soils in Bay Islands. Field Crops Research, 61: 13-21.
92. Mansour, M.M.F., K.H.A. Salama, FZ.M. Ali, A.F. Abou Hadid. 2005. Cell and plant responses to NaCl in Zea mays L. cultivars differing in salt tolerance. Gen. Appl. Plant Physiol., 31: 29-41.
93. May, L. H., F.H. Chapman, D. Aspinall. 1965. Quantitative Studies of Root Development I. The Influence of Nutrient Concentration. Australian Journal of Biological Sciences, 18(1): 25-35.
94. McIntosh, M. S. 1983. Analysis of combined experiments. Agronomy Journal, 75 : 153-155.
95. Menad, A., N. Meziani, H. Bouzerzour, A. Benmahammed. 2011. Analyse de l'interaction génotype x milieu du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) : application des modèles AMMI et la régression conjointe. Nature & Technology (Université Chlef) 5: 99-106.

96. Meziani, N., H. Bouzerzour, A. Benmahammed, A. Menad, A. Benbelkacem. 2011. Performance and adaptation of Barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) to diverse locations. *Advances in Environmental Biology*, 5: 1465-1472.
97. Miyamoto, S., K. Piela, J. Pelticrew. 1985. Salt effects on germination and seedling emergence of several vegetable crops and guayule. *Irrig. Sci.*, 6 : 159-170.
98. Mondal, T.K., A.R. Bal, S. Pal. 1988. Effect of salinity on germination and seedling growth of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *J. Indian Soc. Coast. Agric. Res.*, 6: 91-97.
99. Munns, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: Some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ.*, 16: 15-24.
100. Munns, R., A. Termaat. 1986. Whole-plant responses to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 143-160.
101. Munns, R., M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 651-681.
102. Munns, R., D.P. Schachtman, A.G. Condon. 1995. The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 22(4): 561-569.
103. Munns, R., R.A. Hare, R.A. James, G.J. Rebetzke. 2000. Genetic variation for improving the salt tolerance of durum wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51(1): 69-74.
104. Munns, R., G.I. Rebetzke, S. Husain, R.A. James, R.A. Hare. 2003. Genetic control of sodium exclusion in durum wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 54: 627-635.

105. Munns, R., R. A. James, A. Lauchli. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57(5): 1025-1043.
106. Nawaz, A., N. Ahmad, R.H. Qureshi. 1986. Salt tolerance of cotton. In: Prospects for Bio-saline Research Proc. US-Pak Biosaline Research Workshop. Ahmad, R. and Pietro, A. S. (eds.). pp.57-66.
107. Niazi, M.L.K., K. Mahmood, S.M. Mujtaba, K.A. Malik. 1992. Salinity tolerance in different cultivars of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Biologica Plantarum*, 34 : 465-469.
108. Nedjimi, B., Y. Daoud. 2006. Effect of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on the growth, water relations, proline, total soluble sugars and ion content of *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* through *in vitro* culture. *Anales de Biología* 28: 35-43.
109. Nijenstein, H., R. Don, J. Nydam. 2008. Comparison of oven moisture tests at 130°C vs. 103 °C. *Seed Testing International*, 135: 28-33.
110. Noble, C. L., M.E. Rogers. (1992). Arguments for the use of physiological criteria for improving the salt tolerance in crops. *Plant Soil*, 146: 99-107.
111. Nouar, H., H. Bouzerzour, L. Haddad, A. Menad, T. Hazmoune, H. Zerargui. 2012. Genotype x Environment Interaction Assessment in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf) using AMMI and GGE Models. *Advances in Environmental Biology*, 6(11): 3007-3015.
112. Othman, Y. 2005. Evaluation of barley cultivars grown in Jordan for salt tolerance. Thesis, Jordan University of Science and Technology, Jordan, 150 pages.
113. O'Toole JC, T.T. Chang. 1979. Drought resistance in cereals - rice: a case study. In: Mussell H, Staples R, eds. *Stress physiology in crop plants* , John Wiley & Sons, Inc, 373-405.

114. Platten, J.D., O. Cotsaftis, P. Berthomieu, H. Bohnert, R.J. Davenport, D.J. Fairbairn, *et al.* 2006. Nomenclature for HKT transporters, key determinants of plant salinity tolerance. *Trends in Plant Science*, 11(8): 372-374.
115. Qadir, M., A. Ghafoor, G. Murata. 2001. Amelioration strategies for saline-sodic soils: A review. *Land Degrad. and Develop.*, 12: 357-386.
116. Rasmusson, DC. 1992. Barley breeding at present and in the future. In Munck L (ed.): *Barley Genetics VI*, vol. II. Munksgaard Int. Publ. Ltd., Copenhagen. 865-877.
117. Rebetzke, G. J., A. G. Condon, R. A. Richards, G. D. Farquhar. 2002. Selection for reduced carbon isotope discrimination increase aerial biomass and grain yield of rain-fed bread wheat. *Crop Science*, 42: 739-745.
118. Ren, Z.H., J.P. Gao, L.G. Li, X.L. Cai, W. Huang, D.Y. Chao, *et al.* 2005. A rice quantitative trait locus for salt tolerance encodes a sodium transporter. *Nat. Genet.*, 37: 1141-1146.
119. Rengasamy, P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany, Plants and Salinity Special Issue*, 57(5): 1017-1023.
120. Reynolds, M., J. Foulkes, R. Furbank, S. Griffiths, J. King, E. Murchie, *et al.* 2012. Achieving yield gains in wheat. *Plant, Cell and Environment*, 35: 1799-1823.
121. Rodríguez, P., J. Dell Amico, D. Morales, M. J. Sánchez-Blanco, J. J. Alarcón. 1997. Effects of salinity on growth, shoot water relations and root hydraulic conductivity in tomato plants. *The Journal of Agricultural Science*, 128(4): 439-444.
122. Rodríguez-Navarro, A., F. Rubio. 2006. High-affinity potassium and sodium transport systems in plants. *Journal of Experimental Botany (Plants and Salinity Special Issue)*, 57(5):1149-1160.

123. Rus, A., I. Baxter, B. Muthukumar, J. Gustin, B. Lahner, E. Yakubova, D.E. Salt. 2006. Natural variants of AtHKT1 enhance Na<sup>+</sup> accumulation in two wild populations of *Arabidopsis*. PLoS Genetics, 2(12): 1964-1973.
124. Saranga, Y., D. Zamir, A. Marani, J. Rudich. 1991. Breeding tomatoes for salt tolerance: Field evaluation of *Lycopersicon* germplasm for yield and dry matter production. J. Am. Soc. Hort. Sci. 116: 1067-1071.
125. Schachtman, D.P., R. Munns. 1992. Sodium accumulation in leaves of *Triticum* species that differ in salt tolerance. Australian Journal of Plant Physiology, 19(3): 331-340.
126. Shannon, M.C. 1997. Adaptation of plants to salinity. Advances in Agronomy, 60: 75-120.
127. Shannon, M. C., C. M. Grieve. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. Sci. Hort., 78: 5-38.
128. Shannon, M. C., C. M. Grieve, L.E. Francois. 1993. Whole-plant response to salinity. In: Wilkinson, R.E. (Ed.), Plant-Environment Interactions. Marcel Dekker, New York, pp. 199-244.
129. Sharma, A.D., M. Thakur, M. Rana, K. Singh. 2004. Effect of Plant Growth Hormones and Abiotic Stresses on Germination, Growth and Phosphatase Activities in *Sorghum bicolor* (L.) Moench Seeds. African Journal of Biotechnology, 3(6): 308-312.
130. Shiferaw, B., D. A. Baker. 1996. An evaluation of drought screening technics for *Eragrostis tef*. Trop Sci. 36: 74 - 85.
131. Song, J., F. Gu, T. Changyan, F. Zhang. 2005. Strategies for adaptation of *Suaeda physophora*, *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* to a saline environment during seed germination stage. Annals of Botany, 96: 399-405.

132. Spagnoletti Zeuli, PL., C.O. Qualset. 1990. Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breeding*, 105: 189-202.
133. Srivastava, T.P., S.C. Gupta, P. Lal, P.N. Muralia, A. Kumar. 1998. Effect of salt stress on physiological and biochemical parameters of wheat. *Ann. Arid Zone* 27 : 197-204.
134. Sunarpi, T. Horie, J. Motoda, M. Kubo, H. Yang, K. Yoda, *et al.* 2005. Enhanced salt tolerance mediated by AtHKT1 transporter-induced Na<sup>+</sup> unloading from xylem vessels to xylem parenchyma cells. *The Plant Journal*, 44: 928–938.
135. Tester, N., R. Davenport, 2003. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Annals of Botany*, 91: 1-25.
136. Tobe, K., L. Zhang, K. Omasa. 1999. Effects of NaCl on seed germination of five nonhalophytic species from a Chinese desert environment. *Seed Science and Technology*, 27: 851–863.
137. Vargas, M., F.A. Van Eeuwijk, J. Crossa, J.M. Ribaut. 2006. Mapping QTLs and QTL x environment interaction for CIMMYT maize drought stress program using factorial regression and partial least squares methods. *Theor. Appl. Genet.*, 112: 1009-1023.
138. Wahid, A., I.U.H. Javed, I. Ali, A. Baig, E. Rasul. 1998. Short term incubation of sorghum caryopses in sodium chloride levels: changes in some pre- and post-germination physiological parameters. *Plant Science*, 139: 223-232.
139. Wahid, A., E. Rasul, A. Rao. 1999. Germination of seeds and propagules under salt stress. In Pessaraki M (Ed.) *Handbook of plant and crop stress* Marcel and Dekker Inc., New York. pp.153-167.
140. Wexnue, W., P. E. Bilsborrow, P. Hooley, D. A. Fincham, E. Lombi, B. P. Forster. 2003. Salinity induced differences in growth, ion distribution and

partitioning in barley between the cultivar Maythorpe and its derived mutant Golden Promise. *Plant Soil*, 250: 183-191.

141. Willenborg, C.J., R.H. Gulden, E.N. Johnson, S.J. Shirtliffe. 2004. Germination characteristics of polymer-coated canola (*Brassica napus* L.) seeds subjected to moisture stress at different temperatures. *Agronomy Journal*, 96 (3): 786–791

142. Xue Z., D. Zhi, G. Xue, H. Zhang, Y. Zhao, G. Xia, 2004. Enhanced salt tolerance of transgenic wheat (*Triticum aestivum* L.) expressing a vacuolar Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiporter gene with improved grain yields in saline soils in the field and a reduced level of leaf Na<sup>+</sup>. *Plant Sci.*, 167: 849-859.

143. Zeng, L., M.C. Shannon, C.M. Grieve. 2002. Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by multiple agronomic parameters. *Euphytica* 127: 235-245.

144. Zhao, F., C.P. Song, J. He, H. Zhu, 2007. Polyamines Improve K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> Homeostasis in Barley Seedlings by Regulating Root Ion Channel Activities. *Plant Physiology*, 145: 1061-1072.

145. Zhu, G.Y., J.M. Kinet, S. Lutts. 2001. Characterization of rice (*Oryza sativa* L.) F<sub>3</sub> populations selected for salt resistance. I. Physiological behaviour during vegetative growth. *Euphytica*, 121 : 251-263.

146. Zid, E., C. Grignon. 1989. Les tests de sélection pour la résistance des plantes aux stress : cas des stress salins et hydriques. In: L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. II Journées scientifiques du réseau biotechnologies végétales. Tunis, 4-9 décembre 1989. *éds. AUPELF-UREF*, 91-108.