

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

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

جامعة محمد خيضر-بسكرة

Université Mohamed Khider-Biskra

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la vie  
Département des Sciences Agronomiques

## Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de

## Doctorat en sciences

Sciences Agronomiques

Spécialité : Phytotechnie

**Variabilité des réponses phénotypiques,  
physiologiques et biochimiques des variétés d'orge  
(*Hordeum vulgare* L.) face au stress salin**

Présenté par : M. DJERAH Abdelghani

### Devant le jury :

Président :	M. GUIMEUR Kamel	MCA Université de Biskra
Directeur de thèse :	M. MASMOUDI Ali	Professeur Université de Biskra
Examineurs :	M. ABDESSELAM Salah	Professeur Université de Batna1
	M. BEGHAMI Yassine	Professeur Université de Batna1

Année Universitaire 2023/ 2024

## Résumé

### **Variabilité des réponses phénotypiques, physiologiques et biochimiques des variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) face au stress salin**

Cette étude comprend deux parties. La première a étudié l'effet de trois niveaux du stress salin (80mM, 130mM et 180 mM de NaCl) sur le comportement de seize variétés d'orge cultivées en pots. Dans cette partie les paramètres phénotypiques, physiologiques et biochimiques sont étudiés. La deuxième partie a étudié le comportement de seize variétés d'orge en plein champ irriguées avec une eau salée (5.3dS/m) en plus de la salinité du sol dans la région de Biskra. Cette partie s'est consacrée à étudier les paramètres morphologiques et les composantes du rendement.

Les résultats de la première partie montrent une grande variabilité des stades phénologiques chez les variétés étudiées où l'effet de la salinité a marqué une légère tardivité. Les caractères morphologiques (nombre de talles, hauteur des plantes, longueur des racines, surface foliaire, biomasse aérienne et biomasse racinaire) ont enregistré des diminutions surtout à la dose 180mM de NaCl. Le taux de diminution est important chez les variétés moins tolérantes et entre faible à moyen chez les variétés tolérantes. Les résultats des teneurs en cations des plantes, présentent une forte accumulation en sodium dans la partie aérienne que dans la partie racinaire chez toutes les variétés, dont les teneurs augmentent avec l'augmentation de la concentration en NaCl. Cependant, pour le potassium ; toutes les variétés ont enregistré de variables diminutions dans les deux parties (aérienne et racinaire) avec l'augmentation du niveau du stress salin. Les valeurs supérieures du ratio  $K^+/Na^+$  ont été enregistrées chez les variétés tolérantes. De même pour les éléments  $Mg^{++}$  et  $Ca^{++}$ , ont aussi marqué des diminutions avec l'augmentation du niveau du stress salin. Les variétés qui ont gardé des teneurs élevées en ces deux éléments sont plus tolérantes que les autres. Quant aux caractères biochimiques et physiologiques ; les variétés qui ont marqué une biomasse sèche importantes ont aussi enregistré des teneurs élevées en chlorophylle malgré sa diminution sous l'effet du stress salin. La teneur relative en eau (TRE) et le taux de déperdition d'eau (TDE) ont aussi marqué de variables diminutions. Cependant, les teneurs en proline ont connu des augmentations avec l'augmentation du niveau du stress salin. Ces accumulations sont plus importantes chez les variétés tolérantes. D'après ces résultats, les variétés qui gardent une certaine stabilité des valeurs (faible diminution ou faible augmentation vis-à-vis du stress) sont plus tolérantes que les autres. Enfin, les variétés pour cette partie sont classées comme suit : les variétés Fouara, Oued-righ, Rihane03 et Saïda183 sont des variétés tolérantes ; les variétés Acsad176, Alanda, Bahia, Plaisant, Rahma, Soufara, Tichedrett, et Tissa sont des variétés moyennement tolérantes alors que les variétés Barberousse, Jaïdor, Lagune, et Tina sont des variétés peu tolérantes.

Les résultats de la deuxième partie ont montré une variabilité des différents stades, mais la durée du cycle végétatif a classé les variétés Saïda183, Soufara, Tissa, Alanda, Rahma Plaisant Acsad176 et Rihane03 comme variétés précoces ; les variétés Fouara, Bahia, Tichedrett, Oued-righ, Tina et Lagune comme variétés semi-précoce ; et enfin les variétés Jaïdor et Barberousse comme variétés tardives. Les résultats des paramètres morphologiques, dévoilent une grande variabilité chez les variétés étudiées ; le nombre de talles-épis est plus importants chez les variétés à deux rangs que chez les variétés à six rangs. La hauteur des plantes est une caractéristique variétale qui peut influencer sur le rendement en paille. Cependant, pour la surface foliaire ; la surface la plus réduite est enregistrée beaucoup plus chez les orges à deux rangs que chez les orges à six rangs qui a été associé à une production importante en talles herbacées et en talles épis. Contrairement à la surface foliaire, la longueur des épis la plus importante est repérée chez les variétés à deux rangs. Quant aux composantes du rendement ; le nombre d'épis/m<sup>2</sup> le plus important est enregistré chez les variétés à deux rangs. Le rendement en paille qui est un caractère variétal mais peut être influencé par les facteurs environnementaux. Le rendement en grains est le principal caractère visé. Ce dernier est affecté en plus du stress salin par les fluctuations climatiques surtout les fortes chaleurs en période de remplissage du grain. Ce sont les variétés précoces et moyennement précoces qui peuvent échapper à ce facteur climatique et sont celles qui ont données des rendements supérieurs. Enfin le classement des variétés dans cette partie a dégagé les variétés tolérantes : Acsad176, Oued-righ, Rahma, Rihane03, Saïda183, Soufara et Tissa ; les variétés moyennement tolérantes : Alanda, Bahia, Fouara, Plaisant Tichedrett et Tina ; et enfin les variétés peu tolérantes : Barberousse, Jaïdor et Lagune.

Cette classification est obtenue en conditions de stress salin, avec les effets environnementaux de la région de Biskra, et les pratiques culturales (date de semis, fertilisation ...etc.).

**Mots clés** : Stress salin, NaCl, Orge, Biskra, comportement.

## **Abstract**

### **Variability of phenotypic, physiological and biochemical responses of barley varieties (*Hordeum vulgare* L.) to salt stress**

This study consists of two parts. The first studied the effect of three levels of salt stress (80mM, 130mM and 180 mM of NaCl) on the behavior of sixteen varieties of barley grown in pots. In this part the phenotypic, physiological and biochemical parameters are studied. The second part studied the behavior of sixteen varieties of barley in the open field irrigated with salt water (5.3dS/m) in addition to soil salinity in the Biskra region. This part was dedicated to studying the morphological parameters and the components of yield. The results of the first part show a great variability of the phenological stages of all varieties studied, where the effect of salinity marked a slight lateness. The morphological characters (number of tillers, plant height, root length, leaf area, shoot biomass and root biomass) recorded a decrease especially at the 180 mM dose of NaCl. This rate of decrease is significant in the less tolerant varieties and between low and medium in the tolerant varieties. The results of the cation contents of the plants show a strong accumulation of sodium in the aerial part than in the root part in all the varieties, the contents of which increase with the increase in the concentration of NaCl. However, for potassium; all the varieties recorded variable decreases in both parts (shoot and root) with the increase in the level of salt stress. Higher values of the  $K^+/Na^+$  ratio was recorded in tolerant varieties. Similarly for the elements  $Mg^{++}$  and  $Ca^{++}$ , also marked decreases with the increase in the level of salt stress. The varieties that have kept high levels of these two elements are more tolerant than the others. As for the biochemical and physiological characters; the varieties which marked a significant dry biomass also recorded high levels of chlorophyll despite its decrease under the effect of salt stress. Relative water content (RWC) and rate water loss (RWL) also showed variable decreases. However, proline levels increased with increasing salt stress level. These accumulations are greater in tolerant varieties. According to these results, the varieties which keep a certain stability of the values (low decrease or low increase with stress levels) are more tolerant than the others. Finally, the varieties for this part are classified as follows: the varieties Fouara, Oued-righ, Rihane03 and Saïda183 are tolerant varieties; the Acsad176, Alanda, Bahia, Plaisant, Rahma, Soufara, Tichedrett, and Tissa are moderately tolerant varieties, while the Barbarossa, Jaïdor, Lagune, and Tina are low-tolerant varieties.

The results of the second part showed a variability of the different stages, but the duration of the vegetative cycle classified the varieties Saïda183, Soufara, Tissa, Alanda, Rahma Plaisant Acsad176 and Rihane03 as early varieties; the varieties Fouara, Bahia, Tichedrett, Oued-righ, Tina and Lagune as semi-early varieties; and finally, the varieties Jaïdor and Barberousse as a late varieties. The results of the morphological parameters reveal a great variability among the varieties

studied; the number of ear-tillers is greater in two-row varieties than in six-row varieties. Plant height is a varietal characteristic that can influence straw yield. However, for leaf area; the smallest area is recorded much more in two-row barley than in six-row barley, which was associated with a significant production of herbaceous tillers and ear tillers. Unlike the leaf area, the largest spike length is found in two-row varieties. As for the components of yield; the highest number of ears/m<sup>2</sup> is recorded in two-row varieties. The straw yield which is a varietal character but can be influenced by environmental factors. Grain yield is the main objective sought. This yield is affected in addition to salt stress by climatic fluctuations, especially high temperatures during the grain filling period. It is the early and medium-early varieties that can escape of this climatic factor and are the ones that have given higher yields. Finally, the classification of varieties in this part revealed the tolerant varieties: Acsad176, Oued-righ, Rahma, Rihane03, Saïda183, Soufara and Tissa; moderately tolerant varieties: Alanda, Bahia, Fouara, Plaisant Tichedrett and Tina; and finally, the low tolerant varieties: Barbarossa, Jaïdor and Lagune.

This classification is obtained under saline stress conditions, with the environmental effects of the Biskra region, and cultural practices (sowing date, fertilization, etc.).

**Keywords:** Salt stress, NaCl, Barley, Biskra, Behavior.

تباين الاستجابات المظهرية، الفسيولوجية والبيوكيميائية لأصناف الشعير

### (*Hordeum vulgare* L.) للإجهاد الملحي

تتألف هذه الدراسة من جزئين. الجزء الأول درس تأثير ثلاثة مستويات من الإجهاد الملحي (80 ملي مول، 130 ملي مول، 180 ملي مول من كلوريد الصوديوم) على سلوك ستة عشر صنفاً من الشعير المزروع في الأصص. في هذا الجزء تمت دراسة الخصائص المظهرية والفسيولوجية والكيميائية الحيوية. أما الجزء الثاني فتمت دراسة سلوك ستة عشر صنفاً من الشعير في الحقل والمروية بالمياه المالحة (5.3dS/m) بالإضافة إلى ملوحة التربة في منطقة بسكرة. خصص هذا الجزء لدراسة الصفات المورفولوجية ومكونات المردود.

أظهرت نتائج الدراسة الأولى تبايناً كبيراً في مراحل النمو لجميع الأصناف المدروسة، حيث أظهر تأثير الملوحة تأخرًا طفيفاً في دورة النمو. سجلت الصفات المورفولوجية (عدد الأشرطة، طول النبات، طول الجذر، مساحة الورقة، الكتلة الحيوية الهوائية للنباتات والكتلة الحيوية للجذور) انخفاضاً خاصة عند الجرعة 180 ملي مول من كلوريد الصوديوم. لقد كان معدل هذا الانخفاض كبيراً في الأصناف الأقل تحملاً وصغيراً إلى متوسطاً في الأصناف المتحملة للملوحة. تظهر نتائج المحتويات الكاتيونية للنباتات تراكمًا كبيراً للصوديوم في الجزء الهوائي أكثر منه في الجزء الجذري في جميع الأصناف، والتي تزداد نسبتها مع زيادة تركيز كلوريد الصوديوم. غير أن محتويات جميع الأصناف من البوتاسيوم سجلت انخفاضاً متغيراً في كلا القسمين من النبات (الهوائي والجذري) مع زيادة مستوى الإجهاد الملحي. كما تم تسجيل قيم أعلى لنسبة  $K^+/Na^+$  في الأصناف المتحملة للملوحة. نفس الشيء تم ملاحظته بالنسبة للعنصرين  $Mg^{++}$  و  $Ca^{++}$ ، فقد سجل انخفاضاً ملحوظاً في نسبتهما مع زيادة مستوى الإجهاد الملحي. وتبين أن الأصناف التي احتفظت بمستويات عالية من هذين العنصرين هم الأكثر تحملاً للملوحة. أما بالنسبة للصفات البيوكيميائية والفسيولوجية؛ فقد سجلت الأصناف التي تميزت بكتلة حيوية جافة كبيرة مستويات عالية من الكلوروفيل على الرغم من انخفاضها تحت تأثير الإجهاد الملحي. كما أظهر محتوى الماء النسبي (RWC) ومعدل فقد الماء (RWL) انخفاضات متغيرة. وسجلت أيضاً زيادات في تراكيمات البرولين مع زيادة مستوى الإجهاد الملحي. هذه التراكيمات كانت أكبر في الأصناف المتحملة للإجهاد الملحي. وفقاً لهذه النتائج، فإن الأصناف التي لم تتغير عندها قيم العناصر المدروسة كثيراً (زيادة أو نقصان مهما تغيرت مستويات الإجهاد) هي الأكثر تحملاً للملوحة من الأصناف الأخرى. وأخيراً، صنفت أصناف الشعير في هذا الجزء من الدراسة على النحو التالي: أصناف فوارة، واد ريغ، ريحان03، سعيدة183 أصنافاً متحملة للملوحة؛ أصناف اكساد176، الأنداء، باهية، بليزان، رحمة، صوفارة، تيشدرت وتيسا كأصنافاً ذات تحمل متوسط للملوحة، بينما صنفت باربروس، جايدور، لاغون و تينا من كأصنافاً منخفضة التحمل.

أم بالنسبة للجزء الثاني من الدراسة، فقد أظهرت النتائج تبايناً لمختلف مراحل النمو، ومن خلال تحديد مدة دورة حياة كل الاصناف تم تصنيفها كما يلي : أصناف سعيدة183، صوفارا، تيسا، الأنداء، رحمة، بليزان،

أكساد176 وريحان03 صنفت كأصناف مبكرة؛ وأصناف فوارة، باهية، تيشدرت، واد ريغ، تينا، ولاغون صنفت كأصناف شبه مبكرة؛ وأخيرا، فإن أصناف جايدور و باربروس صنفت كأصناف متأخرة. تظهر نتائج المعلومات المورفولوجية تباينًا كبيرًا بين الأصناف المدروسة؛ عدد الأشطاء أكبر في الأصناف ذات الصفين مقارنة بالأصناف ذات الستة صفوف. أما طول النبات فهو خاصية نوعية يمكن أن تؤثر على محصول القش. بالنسبة لمساحة الأوراق؛ فقد تم تسجيل أصغر مساحة عند الشعير ذو الصفين أكثر بكثير من الشعير المكون من ستة صفوف، والذي ارتبط بإنتاج كبير لعدد الأشطاء وعدد السنابل. على عكس مساحة الورقة، فقد سجل أكبر طول للسنابل في أصناف الشعير ذات الصفين. أما بالنسبة لعناصر المردود؛ فتم تسجيل أكبر عدد من السنابل/ متر مربع في الأصناف ذات الصفين. اما محصول القش الذي يعتبر صفة نوعية غير انه يمكن أن يتأثر بالعوامل البيئية. فيما يخص مردود الحبوب الذي هو الهدف الرئيسي المنشود فإنه يتأثر بالإضافة إلى الإجهاد الملحي بالتقلبات المناخية وخاصة درجات الحرارة المرتفعة خلال فترة ملء الحبوب بالمدخرات. إن الأصناف المبكرة والمتوسطة التبكير هي التي يمكنها تجنب تأثيرات هذا العامل المناخي وهي الأنواع التي أعطت مردودا أعلى. وأخيرًا، مكنت هذه الدراسة من تصنيف أصناف الشعير على النحو التالي: الأصناف المحتملة: أكساد176، واد ريغ، رحمة، ريحان03، سعيدة183، صوفارا وتيسا؛ الأصناف متوسطة التحمل: الأندا، باهية، فوارة، بليزان، تيشدرت وتينا؛ وأخير الأصناف منخفضة التحمل: باربروس، جايدور ولاغون. تم ترتيب أصناف الشعير المدروسة تحت ظروف الإجهاد الملحي، مع التأثيرات البيئية لمنطقة بسكرة، والممارسات الزراعية (تاريخ الزراعة، التسميد، إلخ).

**الكلمات المفتاحية:** إجهاد ملحي، كلوريد الصوديوم، شعير، بسكرة، سلوك.

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail*

*À la mémoire de mon cher père*

*que Dieu l'accueille à son vaste paradis*

*À ma chère mère*

*À ma femme et mes enfants*

*À mes frères et mes sœurs*

*À mes amis*

*À toute ma famille.*

# ***Hommage Posthume***

*Au*

***Professeur BELHAMRA Mohamed***

*Nous ne nous t'oublierons jamais Monsieur **Belhamra Mohamed**. Votre sympathie, votre générosité et votre contribution précieuse à la recherche scientifique au niveau du département des sciences agronomiques de Biskra restent éternellement. Vous avez beaucoup aidé les enseignants et les étudiants par tes conseils fructueux pour développer la recherche dans les domaines de l'agriculture et l'environnement. Votre contribution à cette thèse reste très précieuse. Vous restez toujours gravé à notre mémoire. Nous prions Dieu le tout puissant et miséricordieux t'accueillir en son vaste paradis.*

# Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de thèse Monsieur **Masmoudi Ali**, professeur au département des sciences agronomiques à l'université de Biskra, pour sa patience, pour le temps qu'il a consacré pour m'orienter à la conduite de cette recherche, et surtout ses judicieux conseils. Je suis ravi d'avoir travaillé en sa compagnie.

Je tiens à remercier Monsieur **Guimeur Kamel** Maître de conférences A à l'Université de Biskra, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider ce jury.

J'adresse tous mes remerciements à Monsieur **Abdesselam Salah**, Professeur à l'Université de Batna1, ainsi qu'à Monsieur **Beghami Yassine**, Professeur à l'université de Batna1, de l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être examinateurs de cette thèse.

Mes remerciements s'adressent aussi aux enseignants du département des sciences agronomiques de l'université de Biskra, ainsi aux enseignants du département des sciences agronomiques de l'université de Batna1, en particulier les enseignants du parcours production végétale.

Je ne souhaite pas oublier le personnel des laboratoires de l'université de Biskra ainsi ceux de l'université de Batna1 pour leurs aides précieuses.

Je souhaite également remercier tous mes amis qui ont su m'apporter confiance et écoute à tous les moments.

Je ne veux pas oublier mes étudiants des deux départements des sciences agronomiques des universités Biskra et Batna1 qui m'ont toujours honoré.

Bien entendu, cette liste n'est pas exhaustive et je remercie tous ceux et celles qui m'ont aidé à la réalisation de cette thèse même par soutien morale.

J'associe à ces remerciements au personnel de l'ITGC de Sétif qui m'ont fourni la plupart des semences d'orge.

Enfin, je ne pourrais finir mes remerciements sans oublier ma famille dont, l'amour, le soutien et l'encouragement m'ont été d'un grand réconfort pour achever de ce travail.

# Table des matières

<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	<b>I</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>VI</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....	<b>3</b>
<b>I. SALINITE</b> .....	<b>3</b>
<b>1. DEFINITION</b> .....	<b>3</b>
<b>2. ORIGINE DE LA SALINITE</b> .....	<b>3</b>
2.1. SALINISATION PRIMAIRE .....	3
2.2. SALINISATION SECONDAIRE .....	3
<b>3. DISTRIBUTION DES SOLS SALES</b> .....	<b>4</b>
3.1. DANS LE MONDE .....	4
3.2. EN ALGERIE .....	5
<b>4. MESURES DE LA SALINITE</b> .....	<b>6</b>
4.1. CONDUCTIVITE ELECTRIQUE (CE) AU LABORATOIRE (METHODE CONVENTIONNELLE).....	6
4.2. CONDUCTIVITE ELECTROMAGNETIQUE .....	8
<b>5. EFFETS DE LA SALINITE</b> .....	<b>9</b>
5.1. SUR LE SOL .....	9
<i>a- Effet sur le pH</i> .....	9
<i>b- Effets sur les propriétés physiques du sol</i> .....	9
<i>c- Effet sur la fertilité du sol</i> .....	10
5.2. SUR LE VEGETAL .....	10
5.2.1. <i>Germination</i> .....	10
5.2.2. <i>Photosynthèse</i> .....	11
5.2.3. <i>Croissance</i> .....	11
5.2.4. <i>Nutrition minérale</i> .....	12
5.2.5. <i>Absorption d'eau et la transpiration</i> .....	13
5.2.6. <i>Rendement</i> .....	13
<b>6. MECANISMES D'ADAPTATION DES PLANTES A LA SALINITE</b> .....	<b>14</b>
6.1. ELEMENTS PROTECTEURS CONTRE LE STRESS SALIN .....	14
6.1.1. <i>Osmoprotectants (solutés ou osmolytes compatibles)</i> .....	14
6.1.2. <i>Polyamines</i> .....	16
6.1.3. <i>GABA (<math>\gamma</math>-Aminobutyric Acid) : Acide <math>\gamma</math>-aminobutyrique</i> .....	16
6.1.4. <i>Hormones végétales</i> .....	17

6.1.5. Molécules de signalisation.....	19
6.1.6. Antioxydants.....	21
6.1.7. Eléments Traces.....	22
6.2. STRATEGIE D'ADAPTATION IONIQUE .....	22
6.2.1. Inclusion et compartimentation des ions.....	23
6.2.2. Exclusion .....	23
6.2.3. Ajustement ionique.....	23
<b>7. MOYENS DE LUTTE CONTRE LA SALINITE .....</b>	<b>24</b>
7.1. DRAINAGE.....	24
7.2. LESSIVAGE DES SELS.....	24
7.3. NIVELLEMENT DU SOL.....	25
7.4. METHODES D'IRRIGATION .....	25
7.5. FERTILISATION.....	26
7.6. CHOIX DU MATERIEL VEGETAL .....	26
7.7. TRAVAIL DU SOL .....	27
7.8. AMENDEMENT ORGANIQUE .....	27
7.9. AMENDEMENT CHIMIQUE .....	27
7.10. CHARBON EN POUDRE .....	28
7.11. MAGNETISATION DES EAUX D'IRRIGATION .....	28
<b>II. APERÇU SUR LA CULTURE D'ORGE.....</b>	<b>29</b>
<b>1. CLASSIFICATION DE L'ORGE .....</b>	<b>29</b>
<b>2. ORIGINE DE L'ORGE .....</b>	<b>29</b>
<b>3. VALEUR NUTRITIVE .....</b>	<b>30</b>
<b>4. PRODUCTION DE L'ORGE.....</b>	<b>31</b>
<b>5. CARACTERES ADAPTATIFS DE L'ORGE.....</b>	<b>32</b>
5.1. NOMBRE DE STOMATES .....	32
5.2. SYSTEME RACINAIRE .....	32
5.3. BIOMASSE.....	32
5.4. SURFACE FOLIAIRE .....	32
5.5. PARAMETRES DE RENDEMENT .....	32
5.6. TAUX DE SODIUM DANS LES TISSUS.....	32
<b>CHAPITRE II : EFFETS DU STRESS SALIN SUR LA CULTURE D'ORGE (HORDEUM VULGARE L.) EN POTS .....</b>	<b>33</b>
<b>1. MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>33</b>
1.1. SUBSTRAT .....	33
1.2. MATERIEL VEGETAL.....	33
1.3. POTS.....	34
1.4. EAUX D'IRRIGATION .....	34

1.5. METHODES .....	35
1.5.1. Lieu de l'expérimentation .....	35
1.5.2. Remplissage des pots.....	35
1.5.3. Dispositif expérimental .....	35
1.5.4. Semis.....	36
1.5.5. Irrigation.....	36
1.5.6. Fertilisation .....	37
1.5.7. Désherbage.....	37
1.5.8. Paramètres étudiés.....	37
1.5.9. Analyse statistique des données.....	41
<b>2. RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>42</b>
2.1. STADES PHENOLOGIQUES .....	42
2.1.1. Levée.....	42
2.1.2. Stade 3 feuilles.....	42
2.1.3. Tallage .....	43
2.1.4. Montaison.....	44
2.1.5. Epiaison .....	45
2.2. CARACTERES MORPHOLOGIQUES .....	46
2.2.1. Nombre de talles herbacées .....	46
2.2.2. Nombre de talles épis .....	48
2.2.3. Nombre de plantes mortes à l'épiaison .....	50
2.2.4. Hauteur des plantes.....	50
2.2.5. Longueur des racines .....	52
2.2.6. Surface foliaire.....	52
2.2.7. Biomasse fraîche aérienne.....	54
2.2.8. Biomasse sèche aérienne .....	55
2.2.9. Biomasse fraîche racinaire.....	57
2.2.10. Biomasse sèche racinaire.....	58
2.3. CARACTERES CHIMIQUES .....	60
2.3.1. Teneur en Sodium ( $Na^+$ ).....	60
2.3.2. Teneur en potassium ( $K^+$ ).....	62
2.3.3. Teneur en magnésium ( $Mg^{2+}$ ).....	65
2.3.4. Teneur en calcium ( $Ca^{2+}$ ).....	67
2.4. CARACTERES BIOCHIMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES .....	68
2.4.1. Chlorophylle .....	68
2.4.2. Teneur en proline.....	69
2.4.3. Teneur en sucres solubles totaux.....	72
2.4.4. Teneur relative en eau (TRE ou RWC) .....	73
2.4.5. Taux de déperdition d'eau (TDE ou RWL) .....	76

2.4.6. Perméabilité membranaire ( <i>Membrane permeability or electrolyte leakage</i> ) .....	79
2.5. CLASSIFICATION DES VARIETES .....	81
<b>CHAPITRE III : REPONSE DE LA CULTURE D'ORGE (<i>HORDEUM VULGARE L.</i>) AU STRESS SALIN DANS LA REGION DE BISKRA .....</b>	<b>82</b>
<b>1. MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>82</b>
1.1. REGION D'ETUDE .....	82
1.2. SYNTHESE CLIMATIQUE .....	82
1.3. SOL .....	83
1.4. MATERIEL VEGETAL .....	84
1.5. EAU D'IRRIGATION .....	84
1.6. METHODES .....	84
1.6.1. Lieu de l'expérimentation .....	84
1.6.2. Dispositif expérimental .....	85
1.6.3. Opérations culturales .....	86
1.6.3. Paramètres mesurés .....	86
1.6.4. Outil statistique .....	89
<b>2. RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>90</b>
2.1. DUREE DE DEFERENTES PHASES DE DEVELOPPEMENT DES PLANTES .....	90
2.1.1. Phase semis-levée .....	90
2.1.2. Phase levée-3 feuilles .....	90
2.1.3. Phase 3 feuilles-tallage .....	91
2.1.4. Phase tallage-montaison .....	92
2.1.5. Phase montaison-épiaison .....	92
2.1.6. Phase épiaison-maturité .....	93
2.1.7. Date de récolte (maturité) .....	94
2.1.8. Durée du cycle végétatif .....	95
2.2. CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES .....	95
2.2.1. Talles herbacées .....	95
2.2.2. Talles-épis .....	96
2.2.3. Ratio talles-épi/ talle herbacé (T.E/T.H) .....	97
2.2.4. Hauteur des plantes .....	98
2.2.5. Surface foliaire .....	98
2.2.6. Longueur d'épi .....	99
2.2.7. Longueur de la barbe .....	100
2.3. COMPOSANTES DU RENDEMENT .....	101
2.3.1. Nombre d'épis au mètre carré .....	101
2.3.2. Nombre de grains par épi (NG/E) .....	102
2.3.3. Poids de 1000 grains (PMG) .....	103
2.3.4. Biomasse aérienne .....	104

2.3.5. Rendement en paille .....	105
2.3.6. Rendement théorique .....	106
2.3.7. Rendement réel.....	107
2.3.8. Indice de récolte.....	108
2.4. CLASSIFICATION DES VARIETES .....	109
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>111</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>114</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>132</b>

## Liste des abréviations

ABA : Acide abscissique  
ACSAD : Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands  
BAS : Biomasse aérienne sèche  
BRS : Biomasse racinaire sèche  
BRs : Brassinosteroides  
C1 : Conductivité électrique après 4 heures  
C2 : Conductivité électrique après 24 heures  
CaM : Calmodulines  
CDPK : " calcium-dependent protein kinase" : protéines kinases dépendant du calcium  
CE : Conductivité électrique  
CEC : Capacité d'échange cationique  
Chla : Chlorophylle a  
Chlb : Chlorophylle b  
CKs : Cytokinines  
COMIFER : Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée  
DGTF : Direction générale du Trésor France  
DO : Densité Optique  
DRO = ROS : Dérivé réactif de l'oxygène = Reactive oxygen species  
EC<sub>e</sub> : Conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée du sol  
EC<sub>w</sub> = EC<sub>iw</sub> : Conductivité électrique de l'eau l'irrigation  
ESP : pourcentage de sodium échangeable  
FAO : Food and Agriculture Organization  
FL : Fraction de lessivage = LF : lessivage fraction = LR : lessivage ratio  
GABA : Acide gamma- aminobutyrique  
GSH : Glutathione  
H. plante : hauteur des plantes  
HT : Hautement significative  
ICARDA : *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas*  
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique  
INSID : Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage  
IPTRID : International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage  
ITGC: Institut Technique des Grandes Cultures

MADR : Ministère de l'agriculture, du développement rural et de la pêche  
MS : Matière sèche  
MT : Moyennement tolérante  
NE : Nombre d'épis/m<sup>2</sup>  
NGE : Nombre de grains/ épi  
NS : Non significatif  
Pf : Poids de la feuille du végétal  
Pf<sub>2h</sub> : Poids frais après 2 heures  
Pfi : Poids frais initial  
Phosphore ass : Phosphore assimilable  
PM : Perméabilité membranaire  
PMG : Poids de 1000 grains  
Pmg : Poids moyen d'un grain  
Potassium ass : Potassium assimilable  
Pp : Poids du papier  
Ppt : Poids en plein de turgescence  
Ps : Poids sec  
PT : Peu tolérante  
RDT : Rendement en grain  
SAR : Sodium adsorption ratio  
Sél : Sélection  
SF : Surface foliaire  
SOS : " salt overly sensitive"  
Sp : Surface papier  
T : Tolérante  
TCP : Tocophérols (vitamine E)  
TDE : Taux de déperdition d'eau = R W L : Rate Water Loss  
TE : Talles-épis  
TH : Talles-herbacées  
THS : Très hautement significatif  
TRE : Teneur relative en eau = WRC : Water Relative Content  
TRs : Triazoles  
TSP : Triple superphosphate

## Liste des tableaux

TABLEAU 1 : REPARTITION DES SOLS SALES DANS LE MONDE (SZABLOCS, 1994).....	4
TABLEAU 2 : CLASSES DE SOLS SALES SELON LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE (TAYLOR, 1996).....	7
TABLEAU 3 : TOLERANCE DES CULTURES ET LEUR RENDEMENT POTENTIEL INFLUENCES PAR LA SALINITE DES EAUX D'IRRIGATION (ECw) OU LA SALINITE DES SOLS (ECe).....	14
TABLEAU 4 : LES PLUS FREQUENTES OSMOLYTES QUI S'ACCUMULENT DANS LES PLANTES AU COURS DE LA SALINITE ET DE LA SECHERESSE .....	15
TABLEAU 5 : COMPOSITION DU GRAIN D'ORGE MUR.....	30
TABLEAU 6 : PRODUCTION D'ORGE DANS LE MONDE (TONNES) .....	31
TABLEAU 7 : PRODUCTION D'ORGE EN ALGERIE (TONNES).....	31
TABLEAU 8 : CARACTERISTIQUES DU SUBSTRAT UTILISE.....	33
TABLEAU 9 : GENOTYPES D'ORGE ETUDIES .....	34
TABLEAU 10: CARACTERISTIQUES DES EAUX D'IRRIGATIONS.....	35
TABLEAU 11 : TEMPS DE LEVEE APRES LE SEMIS (JOURS) .....	42
TABLEAU 12 : ANALYSE DE LA VARIANCE DU STADE 3 FEUILLES .....	42
TABLEAU 13 : GROUPES HOMOGENES DES VARIETES AU STADE 3 FEUILLES .....	43
TABLEAU 14 : ANALYSE DE LA VARIANCE DU STADE TALLAGE .....	43
TABLEAU 15 : GROUPES HOMOGENES DES VARIETES AU STADE TALLAGE.....	44
TABLEAU 16 : ANALYSE DE LA VARIANCE DU STADE MONTAISON.....	44
TABLEAU 17 : GROUPES HOMOGENES DES VARIETES AU STADE MONTAISON.....	45
TABLEAU 18 : ANALYSE DE LA VARIANCE DU STADE EPIAISON .....	45
TABLEAU 19 : GROUPES HOMOGENES DES VARIETES AU STADE EPIAISON .....	46
TABLEAU 20 : ANALYSE DE LA VARIANCE DU NOMBRE DE TALLES HERBACEES .....	46
TABLEAU 21 : GROUPES HOMOGENES DES VARIETES POUR LE NOMBRE DE TALLES HERBACEES .....	47
TABLEAU 22 : ANALYSE DE LA VARIANCE DU NOMBRE DE TALLES EPIS .....	48
TABLEAU 23 : GROUPES HOMOGENES DES VARIETES POUR LE NOMBRE DE TALLES EPIS .....	49
TABLEAU 24 : ANALYSE DE LA VARIANCE DU NOMBRE DE PLANTES MORTES.....	50
TABLEAU 25 : ANALYSE DE LA VARIANCE DE LA HAUTEUR DES PLANTES .....	51
TABLEAU 26 : GROUPES HOMOGENES DES VARIETES POUR LA HAUTEUR DES PLANTES.....	51
TABLEAU 27 : ANALYSE DE LA VARIANCE DE LA LONGUEUR DES RACINES .....	52
TABLEAU 28 : ANALYSE DE LA VARIANCE DE LA SURFACE FOLIAIRE .....	52
TABLEAU 29 : GROUPES HOMOGENES DES VARIETES POUR LA SURFACE FOLIAIRE .....	53
TABLEAU 30 : ANALYSE DE LA VARIANCE DE LA BIOMASSE FRAICHE AERIENNE.....	54
TABLEAU 31 : GROUPES HOMOGENES DES VARIETES POUR LA BIOMASSE FRAICHE AERIENNE.....	55
TABLEAU 32 : ANALYSE DE LA VARIANCE DE LA BIOMASSE SECHE AERIENNE .....	55
TABLEAU 33 : GROUPES HOMOGENES DES VARIETES POUR LA BIOMASSE SECHE AERIENNE .....	56
TABLEAU 34 : ANALYSE DE LA VARIANCE DE LA BIOMASSE FRAICHE RACINAIRE .....	57
TABLEAU 35 : GROUPES HOMOGENES DES VARIETES POUR LA BIOMASSE FRAICHE RACINAIRE .....	58
TABLEAU 36 : ANALYSE DE LA VARIANCE DE LA BIOMASSE SECHE RACINAIRE .....	58
TABLEAU 37 : GROUPES HOMOGENES DES VARIETES POUR LA BIOMASSE SECHE RACINAIRE.....	59

TABLEAU 38 : ANALYSE DE LA VARIANCE DES TENEURS EN $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ ET $\text{Ca}^{2+}$ (%) DANS LES PARTIES AERIENNE ET RACINAIRE CHEZ LES VARIETES ANALYSEES.....	60
TABLEAU 39 : RAPPORT $\text{K}^+/\text{Na}^+$ .....	64
TABLEAU 40 : ANALYSE DE LA VARIANCE DE LA TENEUR EN CHLOROPHYLLE TOTALE .....	68
TABLEAU 41 : ANALYSE DE LA VARIANCE DE LA TENEUR EN PROLINE .....	70
TABLEAU 42 : GROUPES HOMOGENES DES VARIETES POUR LA TENEUR EN PROLINE.....	71
TABLEAU 43 : ANALYSE DE LA VARIANCE DE LA TENEUR EN SUCRES SOLUBLES TOTAUX .....	72
TABLEAU 44 : ANALYSE DE LA VARIANCE DE LA TENEUR EN SUCRES SOLUBLES TOTAUX .....	74
TABLEAU 45 : GROUPES HOMOGENES DES VARIETES POUR LA TENEUR RELATIVE EN EAU .....	75
TABLEAU 46 : ANALYSE DE LA VARIANCE DU TAUX DEPERDITION D'EAU .....	76
TABLEAU 47 : CLASSIFICATION DES VARIETES SELON LE TAUX DE DIMINUTION DU TDE.....	78
TABLEAU 48 : ANALYSE DE LA VARIANCE DE LA PERMEABILITE MEMBRANAIRE .....	79
TABLEAU 49 : CLASSIFICATION DES VARIETES SELON LEUR TOLERANCE AU STRESS SALIN.....	81
TABLEAU 50 : ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL DU SITE EXPERIMENTAL.....	83
TABLEAU 51 : GENOTYPES D'ORGE ETUDIES .....	84
TABLEAU 52 : OPERATIONS CULTURALES.....	86
TABLEAU 53 : ANALYSE DE VARIANCE (NOMBRE DE TALLES HERBACEES PAR PLANTE).....	95
TABLEAU 54 : GROUPES HOMOGENES (NOMBRE DE TALLES HERBACEES PAR PLANTE).....	96
TABLEAU 55 : ANALYSE DE VARIANCE (NOMBRE DE TALLES-EPIS PAR PLANTE).....	96
TABLEAU 56 : GROUPES HOMOGENES (NOMBRE DE TALLES-EPIS PAR PLANTE) .....	97
TABLEAU 57 : RATIO TALLES-EPI/TALLES HERBACES (TE/TH).....	97
TABLEAU 58 : ANALYSE DE VARIANCE (HAUTEUR DES PLANTES EN CM) .....	98
TABLEAU 59: GROUPES HOMOGENES (HAUTEUR DES PLANTES EN CM).....	98
TABLEAU 60 : ANALYSE DE VARIANCE (SURFACE FOLIAIRE EN $\text{CM}^2$ ).....	99
TABLEAU 61: GROUPES HOMOGENES (SURFACE FOLIAIRE EN $\text{CM}^2$ ).....	99
TABLEAU 62 : ANALYSE DE VARIANCE (LONGUEUR D'EPIS EN CM) .....	100
TABLEAU 63: GROUPES HOMOGENES (LONGUEUR D'EPIS EN CM).....	100
TABLEAU 64 : ANALYSE DE VARIANCE (LONGUEUR DE LA BARBE EN CM).....	101
TABLEAU 65: GROUPES HOMOGENES (LONGUEUR DE LA BARBE EN CM).....	101
TABLEAU 66 : ANALYSE DE VARIANCE (NOMBRE D'EPIS/ $\text{M}^2$ ).....	102
TABLEAU 67: GROUPES HOMOGENES (NOMBRE D'EPIS/ $\text{M}^2$ ).....	102
TABLEAU 68 : ANALYSE DE VARIANCE (NOMBRE DE GRAINS/EPI).....	103
TABLEAU 69: GROUPES HOMOGENES (NOMBRE DE GRAINS/EPI) .....	103
TABLEAU 70 : ANALYSE DE VARIANCE (POIDS DE 1000 GRAINS EN G).....	104
TABLEAU 71: GROUPES HOMOGENES (POIDS DE 1000 GRAINS EN G).....	104
TABLEAU 72 : ANALYSE DE VARIANCE (BIOMASSE AERIENNE EN QX/HA).....	104
TABLEAU 73: GROUPES HOMOGENES (BIOMASSE AERIENNE EN QX/HA) .....	105
TABLEAU 74 : ANALYSE DE VARIANCE (RENDEMENT EN PAILLE EN QX/HA) .....	105
TABLEAU 75: GROUPES HOMOGENES (RENDEMENT EN PAILLE EN QX/HA).....	106
TABLEAU 76 : ANALYSE DE VARIANCE (RENDEMENT THEORIQUE EN GRAINS QX/HA) .....	106
TABLEAU 77: GROUPES HOMOGENES (RENDEMENT THEORIQUE EN GRAINS QX/HA).....	107

TABLEAU 78 : ANALYSE DE VARIANCE (RENDEMENT REEL EN GRAINS QX/HA).....	108
TABLEAU 79: GROUPES HOMOGENES (RENDEMENT REEL EN GRAINS QX/HA) .....	108
TABLEAU 80 : ANALYSE DE VARIANCE (INDICE DE RECOLTE EN %).....	109
TABLEAU 81: GROUPES HOMOGENES (INDICE DE RECOLTE EN %) .....	109
TABLEAU 82: CLASSIFICATION DES VARIETES SELON LE DEGRE DE TOLERANCE AU STRESS SALIN .....	110

## Liste des Figures

FIGURE 1: REPARTITION MONDIALE DES SOLS SALES (PESSARAKLI AND SZABOLCS, 1999).....	5
FIGURE 2 : REPARTITION DES SOLS SALINS DU NORD D'ALGERIE (INSID, 2008).....	6
FIGURE 3: RELATION ENTRE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DE L'EAU L'IRRIGATION ( $EC_w$ ) ET LA MOYENNE DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DE L'EXTRAIT DE LA PATE SATUREE DU SOL ( $EC_e$ ) .....	8
FIGURE 4 : DISPONIBILITE DES ELEMENTS NUTRITIF POUR LES CULTURES EN FONCTION DU PH DU SOL (FERNANDEZ ET HOEFT, 2009).....	9
FIGURE 5 : RELATION ENTRE LE TAUX DE GERMINATION ET LE TEMPS APRES L'IMBIBITION DES SEMENCES A DIFFERENTS NIVEAUX DE SALINITE (LÄUCHLI & GRATTAN 2007) .....	11
FIGURE 6 :PRESENTATION DES DEUX PHASES DE CROISSANCE DES PLANTES SOUS STRESS SALIN ( MUNNS, 2005).....	12
FIGURE 7: MODELE D'ACCUMULATION DES SELS DANS LES SOLS IRRIGUES PAR RIGOLES POUR LA FORME INCLINE DU LIT DE SEMENCE (BERNSTEIN ET AL, 1955; BERNSTEIN ET FIREMAN, 1957 IN HAMDY AND COSIMO, (2005) .....	26
FIGURE 8 : SCHEMA DES TYPES D'EPIS D'ORGE : .....	29
FIGURE 9 : DIMENSIONS DU POT UTILISE.....	34
FIGURE 10: BLOC EXPERIMENTAL DE POTS CULTIVES DE 16 VARIETES D'ORGE.....	35
FIGURE 11 : SCHEMA DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL .....	36
FIGURE 12 : CLASSEMENT DES VARIETES SELON LE TAUX DE DIMINUTION DU NOMBRE DE TALLES HERBACEES .....	48
FIGURE 13 : CLASSEMENT DES VARIETES SELON LE TAUX DE DIMINUTION DU NOMBRE DE TALLES EPIS .....	50
FIGURE 14 : CLASSEMENT DES VARIETES SELON LE TAUX DE DIMINUTION DE LA SURFACE FOLIAIRE.....	54
FIGURE 15 : CLASSEMENT DES VARIETES SELON LE TAUX DE DIMINUTION DE LA MATIERE SECHE AERIENNE.....	57
FIGURE 16 : CLASSEMENT DES VARIETES SELON LE TAUX DE DIMINUTION DE LA MATIERE SECHE RACINAIRE .....	60
FIGURE 17 : TENEUR DE LA PARTIE AERIENNE EN SODIUM EN FONCTION DU STRESS SALIN .....	61
FIGURE 18 : TENEUR DE LA PARTIE RACINAIRE EN SODIUM EN FONCTION DU STRESS SALIN .....	62
FIGURE 19 : TENEUR DE LA PARTIE AERIENNE EN POTASSIUM EN FONCTION DU STRESS SALIN .....	63
FIGURE 20 : TENEUR DE LA PARTIE RACINAIRE EN POTASSIUM EN FONCTION DU STRESS SALIN .....	65
FIGURE 21 : TENEUR DE LA PARTIE AERIENNE EN MAGNESIUM EN FONCTION DU STRESS SALIN .....	66
FIGURE 22 : TENEUR DE LA PARTIE RACINAIRE EN MAGNESIUM EN FONCTION DU STRESS SALIN .....	66
FIGURE 23 : TENEUR DE LA PARTIE AERIENNE EN CALCIUM EN FONCTION DU STRESS SALIN .....	67
FIGURE 24 : TENEUR DE LA PARTIE RACINAIRE EN CALCIUM EN FONCTION DU STRESS SALIN .....	68
FIGURE 25 : TENEUR EN CHLOROPHYLLE EN FONCTION DU STRESS SALIN .....	69
FIGURE 26 : TENEUR EN PROLINE EN FONCTION DU STRESS SALIN .....	70
FIGURE 27 : TENEUR EN SUCRES SOLUBLES TOTAUX EN FONCTION DU STRESS SALIN .....	72
FIGURE 28 : TENEUR RELATIVE EN EAU EN FONCTION DU STRESS SALIN.....	74
FIGURE 29 : CLASSEMENT DES VARIETES SELON LE TAUX DE REDUCTION DE LA TRE.....	76
FIGURE 30 : TAUX DE DEPERDITION D'EAU EN FONCTION DU STRESS SALIN .....	77
FIGURE 31 : CLASSEMENT DES VARIETES SELON LE TAUX DE REDUCTION DU TDE .....	78
FIGURE 32 : PERMEABILITE MEMBRANAIRE (%) .....	80
FIGURE 33 : CLASSEMENT DES VARIETES SELON LE TAUX D'AUGMENTATION DE LA PERMEABILITE MEMBRANAIRE...	80
FIGURE 34 : CLIMAGRAMME PLUVIOTHERMIQUE D'EMBERGER (2009-2018).....	82

FIGURE 35 : DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DU GAUSSEN (2009-2018) .....	83
FIGURE 36 : SCHEMA DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL .....	85
FIGURE 37 : SCHEMA DE LA PARCELLE ELEMENTAIRE .....	86
FIGURE 38 : DUREE DE LA PHASE SEMIS-LEVEE (JOURS) .....	90
FIGURE 39 : DUREE DE LA PHASE LEVEE-TROIS FEUILLES (JOURS) .....	91
FIGURE 40 : DUREE DE LA PHASE TROIS FEUILLES-TALLAGE (JOURS) .....	91
FIGURE 41 : DUREE DE LA PHASE TALLAGE-MONTAISON (JOURS) .....	92
FIGURE 42: DUREE DE LA PHASE MONTAISON-EPIAISON (JOURS) .....	93
FIGURE 43: DUREE DE LA PHASE EPIAISON-MATURITE (JOURS) .....	94
FIGURE 44: DATES DE RECOLTE SELON LES VARIETES .....	94
FIGURE 45: DUREE DU CYCLE VEGETATIF (JOURS) .....	95

# INTRODUCTION

## Introduction

Les céréales sont les plus anciennes cultures utilisées pour l'alimentation humaine et sont parmi les plus importantes sources de nutriments dans les pays développés et en développement (McKevith, 2004). Malgré les superficies cultivées en céréales, l'Algérie reste dépendante de l'étranger par ses faibles productions qui ne couvrent pas ses besoins. En effet, l'Algérie a importé en fin juin 2022, 6,1 millions de tonnes de blé tendre, 2,6 millions de tonnes de maïs, 1,4 million de tonnes de blé dur et de 571000 tonnes d'orge (DGTF, 2022).

Pour augmenter les productions en céréales, l'Algérie doit améliorer les rendements qui restent faibles, élargir les superficies cultivées ce qui implique l'exploitation des terres marginales qui présentent des contraintes majeures (salinité, sécheresse, ...etc.) et choisir les variétés qui s'adaptent aux conditions rudes.

La salinité des terres marginales constitue la principale contrainte qui empêche leur exploitation et leur développement agricole. Actuellement, environ 1 milliard d'hectares de la surface terrestre est affectée par la salinité, ce qui représente environ 7% de la surface terrestre (Hopmans *et al.*, 2021). Ce dernier auteur ajoute qu'environ 30 % des terres irriguées dans le monde sont affectées par la salinité induite par l'homme. Ce chiffre ne cesse d'augmenter d'une année à l'autre, cette augmentation est estimée annuellement jusqu'à 2 millions d'hectares par an, ce qui affecte une importante partie de la production agricole (Abbas *et al.*, 2013). En Algérie on évalue à un million d'hectare la superficie des sols salés dont 49 milles se situent dans en sud du pays (Szabolcs, 1994). Cependant Hamdy (2002), note que les sols salés occupent environ 3.2 millions d'hectares.

La salinité peut influencer négativement sur les propriétés du sol : le pH, la capacité d'échange cationique (CEC), le pourcentage de sodium échangeable (ESP) (Wang *et al.*, 2014) ; les propriétés biologiques (Saviozzi, Cardelli and Di Puccio, 2011) ; la perméabilité du sol (effet négatif sur l'aération, donc diminution de la croissances des plantes) (Derredji *et al.*, 2004) ; la rétention en eau (Lu *et al.*, 2018). La présence de sels a un effet sur le potentiel osmotique de la solution du sol, ce qui rend la réserve hydrique indisponible aux plantes (Halitim, 1973). En effet, plus la solution du sol est salée, plus la pression osmotique est élevée et plus il est difficile aux racines d'extraire l'eau de la réserve du sol (Song *et al.*, 2005). Il en résulte ainsi un effet dépressif sur la croissance des plantes. Cette réduction de la croissance est expliquée aussi par l'augmentation de la concentration des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , qui atteignent des niveaux toxiques et perturbent ainsi la nutrition minérale des plantes (Zid and Grignon, 1991).

Notant que la réduction de la croissance est une stratégie adoptée par certaines plantes pour s'adapter au stress salin, et diminuer ainsi les dommages résultants (Zhu, 2002).

La réponse des plantes cultivées au stress salin varie selon le type de salinité, la concentration du sel, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (Levigneron *et al.*, 1995).

L'influence du stress salin peut toucher la germination ((Djerah and Oudjehih, 2015) ; la morphologie des plantes (Xiong and Zhu, 2002) ; les caractères biochimiques et physiologiques (Zhao *et al.*, 2021) ; le rendement (Levigneron *et al.*, 1995) ; la composition ionique des plantes (Parida and Das, 2005) et d'autres paramètres.

Parmi les méthodes d'exploitation des terres salées ; c'est le bon choix de l'espèce et/ou la variété qui tolère bien ces conditions de stress.

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est une importante céréale largement cultivée dans le monde, classée en quatrième position après le blé, le riz et le maïs (Chen *et al.*, 2020). C'est l'une des espèces les plus tolérantes à la salinité (Munns and Tester, 2008), qui a été cultivée depuis 15000 ans avant JC (Fast and Caldwell, 2000). C'est une excellente culture modèle pour étudier la tolérance à la salinité et pour développer des outils d'amélioration de la tolérance au sel des céréales (Zhu *et al.*, 2020).

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui vise à étudier l'effet du stress salin sur la culture de seize variétés d'orge pour dégager les plus tolérantes.

Le document est divisé en trois chapitre, le premier est consacré à une synthèse bibliographique, le deuxième étudie l'effet de trois niveaux de stress salin sur le comportement de seize variétés d'orge cultivées en pots et enfin le troisième chapitre étudie le comportement de seize variétés d'orge en plein champ irriguées avec une eau salée en plus du sol salé dans la région de Biskra.

# Chapitre I :

## Synthèse bibliographique

# Chapitre I : Synthèse bibliographique

## I. Salinité

### 1. Définition

La salinité c'est des concentrations de sels minéraux dissous dans le sol (solution du sol) et dans les eaux (Tanji, 2002). Parmi les cations et les anions dans les solutions salines du sol on trouve  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{K}^+$  ;  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{--}$  et  $\text{NO}_3^-$ . Dans certains cas des constituants tels que B,  $\text{Sr}^{++}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Mo,  $\text{Ba}^{++}$  et  $\text{Al}^{3+}$  peuvent participer à la salinité des sols et des eaux sursalés (hypersalins). En régions arides et semi-arides les sels les plus fréquents sont surtout les chlorures et les sulfates de sodium, les sulfates de magnésium et à un moindre degré les carbonates de sodium (Servant, 1978).

Legros (2012), signale que les principales caractéristiques de ces sels c'est qu'ils sont plus solubles que le gypse, et sont susceptibles à passer dans la solution du sol en quantité assez importantes, et vont ainsi gêner la croissance des plantes.

### 2. Origine de la salinité

L'origine de la salinité peut être naturelle (salinisation primaire) ou anthropique (salinisation secondaire) (Cherbuy, 1991). Le premier type constitue 80% de salinisation, alors que le deuxième type représente 20% de salinisation (FAO and IPTRID, 2006).

#### 2.1. Salinisation primaire

L'accumulation de sels dans le sol est causée par deux processus naturels. Le premier est l'altération des roches renfermant des sels solubles ; les différents sels se libèrent, qui sont essentiellement des chlorures de sodium, de calcium et de magnésium, et moins importants, les sulfates et les carbonates. Le chlorure de sodium est le sel le plus soluble. Le second est le dépôt des sels marins transporté dans le vent et la pluie ; sont des sels de la mer menées par le vent et déposées par la pluie, et sont constitués principalement de chlorure de sodium. L'eau de ces pluies contient 5 à 50 milligrammes / kg de sel (Munns, 2002).

Pour ce type de salinisation, Cyrus et *al.* (1997), considèrent que les zones côtières soumises aux marées sont les plus exposées à cette salinisation.

#### 2.2. Salinisation secondaire

La salinisation secondaire est provoquée par l'activité humaine (anthropique), liée fréquemment aux pratiques agricoles inappropriées. Les principales causes de cette salinisation sont :

- L'irrigation avec une eau salée : suite à une irrigation l'eau stagne dans les sols par manque de drainage d'où résulte l'accumulation des sels en surface suite à l'évaporation (Ramade, 2008) ;

- Le défrichement est reconnu comme une cause majeure de la salinisation des sols (Szabolcs, 1994) ;
- L'accumulation des sels d'origine industrielle (eaux usées) dans les sols peuvent provoquer la salinisation de ces derniers. (Szabolcs, 1994 ; Bouwer, 2002).
- La contamination avec des produits chimiques dans les systèmes agricoles intensifs modernes, en particulier dans les serres. Dans les systèmes fermés ou semi fermés (serres) les sels tendent à s'accumuler, si les produits chimiques ne sont pas éliminés régulièrement (Pessarakli, 1991).
- Le surpâturage qui se produit principalement dans les régions arides et semi arides, où la couverture naturelle du sol est pauvre. La végétation naturelle devient rare et la salinisation progressive se développe, et parfois on assiste même à une désertification (Szabolcs, 1994) ;
- La remontée des nappes phréatiques salée à proximité de la surface et transport de sels par remontées capillaires (Lacharme, 2001). El-Fergougui & Boutoutaou (2012), ajoutent que l'évaporation diminue avec l'éloignement du niveau de la nappe de la surface du sol (minimale au-dessous de 2m).

### 3. Distribution des sols salés

#### 3.1. Dans le monde

Selon Szabolcs (1994), la superficie totale représentée par les sols salés dans le monde est de 954,8 millions d'hectare dont 357,3 millions d'hectares en Australie, 211,7 en nord et centre d'Asie et 80,5 millions d'hectares en Afrique (tableau 1 et figure 1).

**Tableau 1: Répartition des sols salés dans le monde (Szablocs, 1994)**

Continent	Surface (millions d'hectares)
Amérique du Nord	15.7
Mexique et Amérique centrale	2.0
Amérique du Sud	129.2
Afrique	80.5
Asie du Sud	87.6
Nord et centre d'Asie	211.7
Asie du Sud-Est	20.0
Australie	357.3
Europe	50.8
<b>Total</b>	<b>954.8</b>

Cette salinité touche non seulement les déserts et les régions semi-désertiques, mais aussi les plaines fertiles alluviales, à proximité des grands fleuves, les zones côtières, et les zones irriguées (Bennett, 1990).

La FAO (2011), estime que 34 millions d'hectares de terres irriguées sont salinisées dans le monde entier, ajoutant 60 à 80 millions d'hectares touchés par la saturation en eau liées à la salinité.



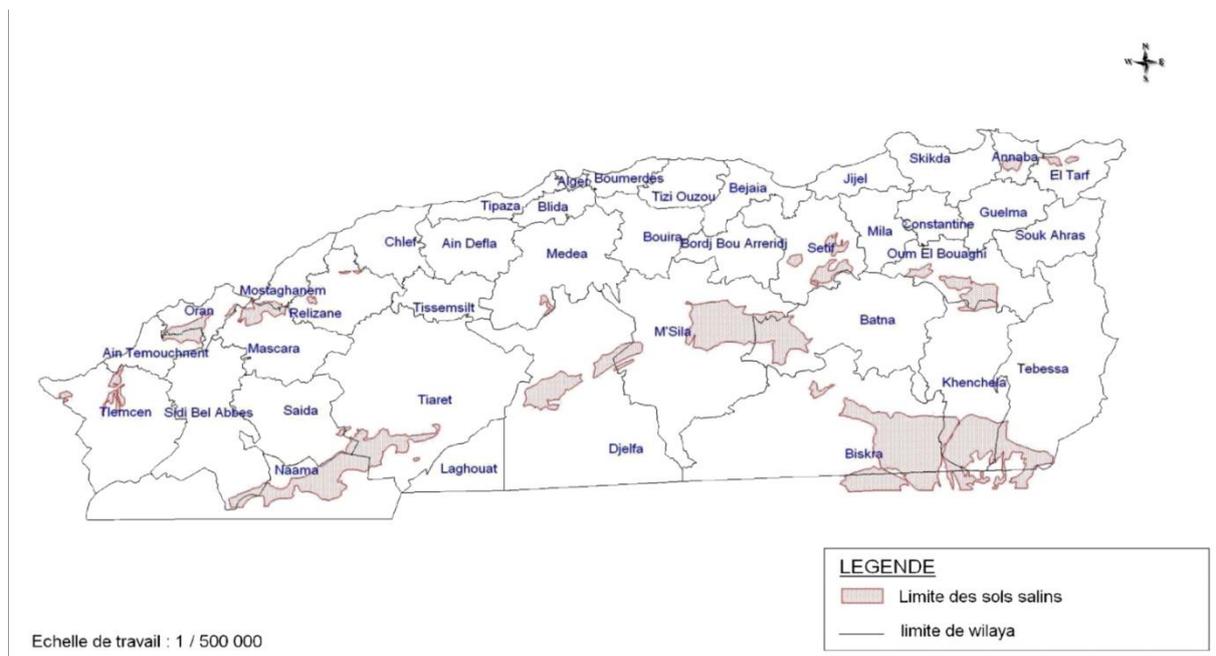
**Figure 1: Répartition mondiale des sols salés (Pessarakli and Szabolcs, 1999)**

### **3.2. En Algérie**

En Algérie, environ 10-15 % de terres irriguées, sont touchées par ces problèmes. Alors que le problème d'alcalinisation, selon Daoud & Halitim (1994), ne se pose pas, on considère que les terres salinisées seront presque irrécupérables.

Selon Hamdy and Cosimo, (2005), les sols salés s'estiment à 3.2 millions d'hectares, et sont surtout localisés au Nord qu'au sud.

Selon INSID (2008), les sols salins sont localisés (figure 2) aux plaines et vallées de l'Ouest du pays (Cheliff, Mina, Maghnia, Habra Sig.), ainsi aux hautes plaines de l'Est (Sétif, Constantine, Oum El Bouagui, Bordj Bou Arreridj), aux abords des Sbkhass et de Chotts (Chott Gharbi, Chott Ech-Chergui, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhass d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazhrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc...).



**Figure 2 : Répartition des sols salins du nord d'Algérie (INSID, 2008)**

## 4. Mesures de la salinité

### 4.1. Conductivité électrique (CE) au laboratoire (méthode conventionnelle)

Cette méthode consiste aux mesures de la conductivité électrique (ou électrochimique) Pour caractériser la salinité des sols. La CE est mesurée à partir d'un échantillon de terre, soit une pâte saturée en eau distillée (Richards *et al.*, 1954), soit une solution d'extraction aqueuses en prenant soin à ce que le rapport sol/eau soit constant (1/ 5 ou 1/ 10) exprimée en dS/m à 25°C.

Selon le système international d'unité la conductivité électrique s'exprime en décisiemens/mètre : dS/m (Ali 2011).

Avec 1 mmhos/cm = 1 dS/m

Les autres unités de conversion sont (Ali 2011) :

- Conductivité à mmol par litre :  $\text{mmol/l} = 10 \times \text{CE (dS/m)}$ , avec un intervalle 0.1–5 dS/m.
- Conductivité à pression osmotique en bars:  $\text{PO} = 0.36 \times \text{CE (dS/m)}$ , avec un intervalle de 3–30 dS/m.

Conductivité à mg/l:  $\text{mg/l} = 0.64 \times \text{CE (\mu\text{mhos/cm})} = 640 \times \text{EC (in dS/m)}$ , avec un intervalle de  $\text{CE} \leq 5 \text{ dS/m}$

-  $\text{mg/l} = 800 \times \text{CE (dS/m)}$ , avec un intervalle de  $\text{CE} > 5 \text{ dS/m}$

- Somme totale des cations et des anions (meq/l) =  $10 \times \text{CE (dS/m)}$ , avec un intervalle  $0.1 < \text{EC} < 5.0 \text{ dS/m}$ .

A partir de la CE du sol, les sols sont classés en plusieurs classes de salinité. Le tableau suivant classe les sols selon la CE mesurée à partir de la pâte saturée à 25°C (Taylor, 1996).

**Tableau 2 : Classes de sols salés selon la conductivité électrique** (Taylor, 1996)

CE (dS.m-1)	Classe de salinité du sol
<2	Non salin
2–4	Légèrement salin
4–8	Modérément salin
8–16	Très salin
>16	Fortement salin

Un sol est considéré comme sol salin à partir d'une CE de 4 dS.m-1 (Richards *et al.*, 1954). Alors que Essington, (2004), propose une classification des sols selon les espèces ou variétés végétales. En se basant sur la CE, ESP et le pH on peut avoir plusieurs catégories de sols salés (Richards *et al.*, 1954). :

- sol salin (CE > 4 dS/m, ESP < 15 et pH <8.5),
- sol salin-sodique ou salin-alkalin (CE > 4 dS/m, ESP > 15 et pH <8.5),
- sol sodique ou alcalin (CE <4 dS/m, ESP >15 et pH >8.5). Sol peu perméable.

Où ESP (pourcentage de sodium échangeable) qui le pourcentage de sodium échangeable sur le complexe d'échange est exprimé par la formule suivante (Richards *et al.*, 1954) :

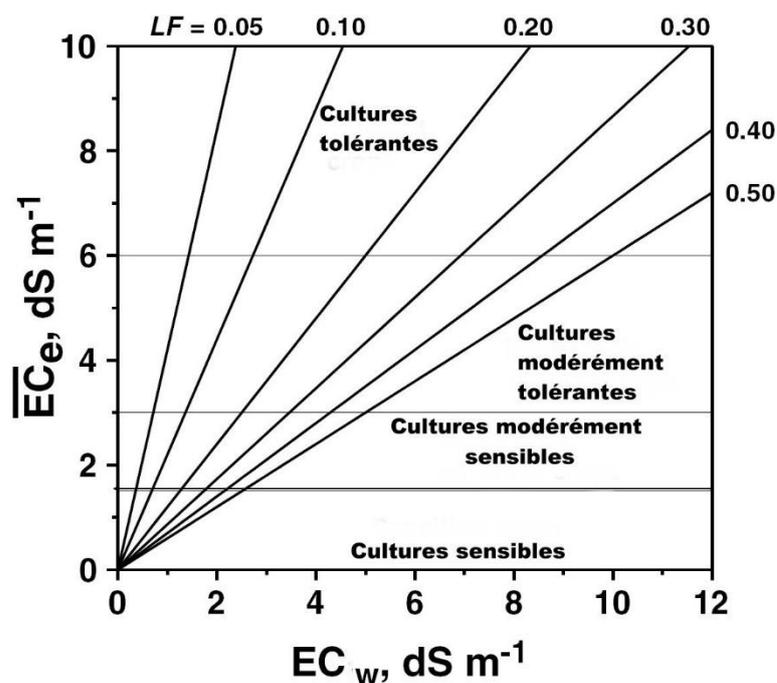
$$ESP = \frac{Na^+}{CEC} \times 100$$

Où CEC : capacité d'échange cationique exprimée en meq/100g

Un autre paramètre pour caractériser la salinité des sols c'est le SAR (Sodium adsorption ratio) qui est un rapport entre le sodium adsorbable par rapport aux autres cations ( $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$ ). La relation entre ces trois cations s'exprime comme suit (Richards *et al.*, 1954) :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}}$$

Selon la salinité du sol, on peut distinguer ; des cultures tolérantes, cultures modérément tolérantes, cultures modérément sensibles et des cultures sensibles (Essington, 2004).



**Figure 3: Relation entre la conductivité électrique de l'eau d'irrigation ( $EC_w$ ) et la moyenne de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée du sol ( $EC_e$ )**  
**Obtenus en utilisant différentes valeurs de la fraction de lessivage (LF). Les catégories de tolérance des cultures sont également représentées (Essington, 2004)**

La figure 3 explique comment le lessivage des sels loin de la zone racinaire améliore la tolérance des cultures. Ceci soit par l'installation d'un système de drainage adéquat ou par l'existence d'un sol perméable qui permet le lessivage des sels.

#### 4.2. Conductivité électromagnétique

Selon Boivin et al. (1989), c'est une méthode rapide de mesure « In situ » de la conductivité électrique globale des sols. Elle permet de s'affranchir de la lourdeur des méthodologies conventionnelles de laboratoire. L'appareil utilisé est léger et utilisable par simple lecture dès mise en contact avec le sol, comporte deux bobines d'induction séparées d'un mètre. La bobine émettrice envoie dans le sol un champ magnétique de basse fréquence. La bobine réceptrice capte un champ secondaire qui est d'autant plus important que le sol est conducteur.

On obtient alors une conductivité apparente globale des deux premiers mètres de sol environ. On l'étalonne par rapport à la conductivité de l'extrait 1/10 de sol sur certains points de mesure représentatifs de la gamme rencontrée.

Cette méthode a permis aussi de suivre la désalinisation des sols salés sous irrigation (Job, Tabbagh et Hachicha, 1995) et d'identifier la répartition de la salinité dans l'espace (Dakak *et al.*, 2011).

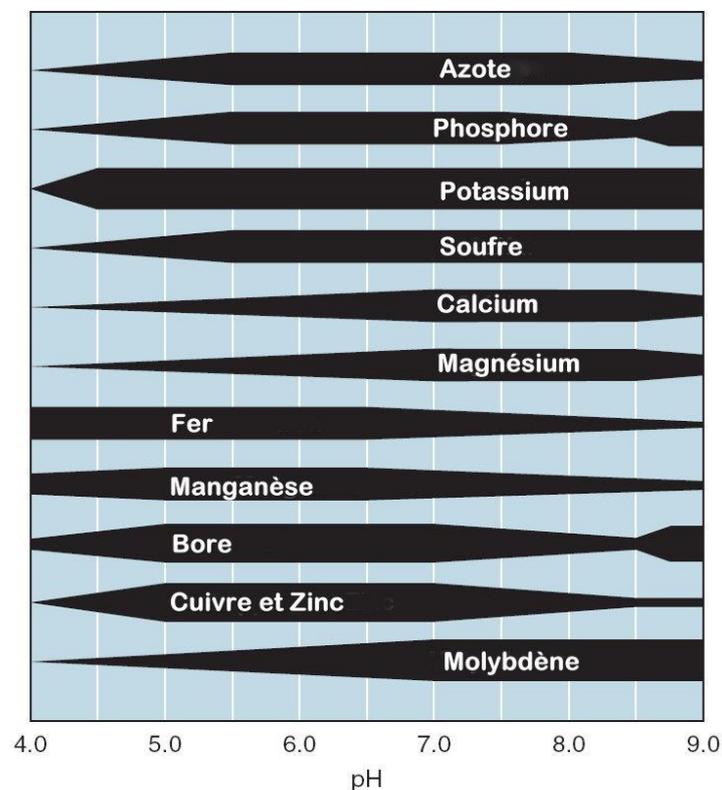
## 5. Effets de la salinité

### 5.1. Sur le sol

#### a- Effet sur le pH

Parmi les effets de la salinité sur le sol, c'est l'augmentation du pH, qui reflète la saturation du  $\text{Na}^+$  sur le complexe d'échange (Duchaufour, 1970) et les anions, et surtout les carbonates et les bicarbonates, qui se comportent en bases (Brady and Weil, 2002).

Parmi les conséquences d'une élévation du pH, les problèmes de fertilité par blocage du phosphore sous des formes non ou peu assimilables, une volatilisation de l'azote et des carences induites de certains éléments minéraux (Zn, Mn, Fe, Cu). Le schéma proposé par Fernández & Hoefft (2009), montre la disponibilité des éléments nutritifs aux cultures selon le pH du sol (figure 4).



**Figure 4 : Disponibilité des éléments nutritif pour les cultures en fonction du pH du sol (Fernández et Hoefft, 2009)**

#### b- Effets sur les propriétés physiques du sol

Parmi les conséquence de la salinité l'effet du sodium échangeable sur le taux de dispersion des argiles (Sigala, Fies and Guennelon, 1989). Le gonflement et la dispersion des argiles en présence du Na, sont responsables de la dégradation des propriétés physiques des sols. L'action du sodium peut aussi influencer négativement sur la perméabilité (colmatage des pores par les particules colloïdales) et sur la structure du sol qui devient plus compact (Shainberg and Singer, 2011)

Les sols salés peuvent rester humides surtout pour la texture fine (Hiouani and Bensaid, 2009). Mais l'augmentation de la pression osmotique dans la solution du sol diminue la disponibilité en eau pour les plantes (Schleiff, 1979).

### **c- Effet sur la fertilité du sol**

La faible fertilité des sols salés est généralement liée à la présence de sels solubles en particulier les sels de sodium (De-Souza Silva and Fay, 2012). Le même auteur, ajoute que cette diminution de fertilité est due à la toxicité de certains éléments (sodium et chlore), le blocage de certains éléments nutritifs et, aussi une altération du métabolisme des organismes présents dans le sol. Ce dernier effet a comme conséquence l'empêchement de la minéralisation de la matière organique dans le sol (Azam and Ifzal, 2006).

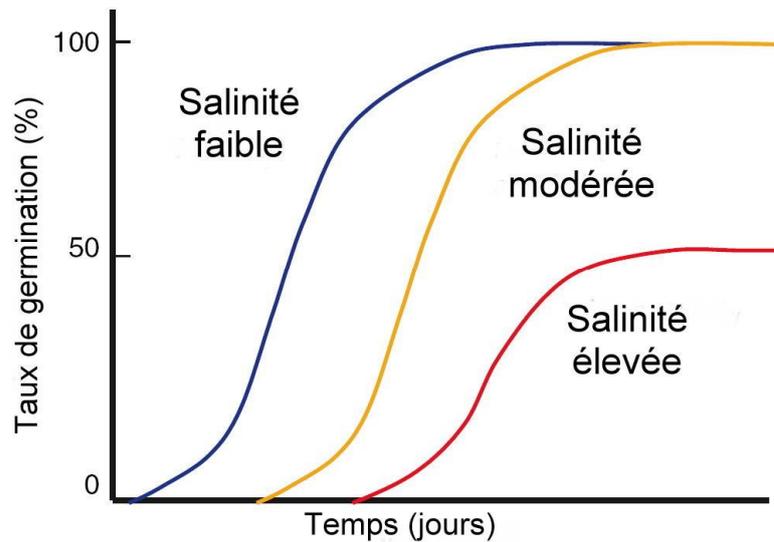
## **5.2. Sur le végétal**

### **5.2.1. Germination**

La germination des semences est l'une des phases les plus fondamentaux et vitaux dans le cycle des plantes qui déterminent la croissance des plantes et le rendement des cultures (Hasanuzzaman, Nahar and Fujita, 2013). Plusieurs travaux ont étudié l'effet du stress salin sur la germination sur plusieurs espèces, à titre d'exemple ; le blé (Ben-Naceur *et al.*, 2001 ; Datta *et al.* 2009 ; Guo *et al.* 2010 ; Bahrani et Joo 2012 ; Ayed *et al.* 2014 ; (Jlassi, Selliti and El-Gazzah, 2014), l'orge (El-Madidi *et al.* 2003 ; Adjel *et al.* 2013 ; EL Goumi *et al.*, 2014 ; Djerah & Oudjehih, 2015 ; Hentour *et al.*, 2022), le riz (Hakim *et al.* 2010 ; Anbumalarmathi *et al.* 2013), le maïs (Carpýcý *et al.* 2009 ; Bakht *et al.* 2011 ; Ibne Hoque *et al.* 2014), le colza (Bybordi 2010 ; Alavi & Ranjbar 2012). Ce que ces auteurs confirment, c'est la diminution du taux de germination avec l'augmentation du stress salin. Ce taux de diminution diffère d'une espèce à une autre. Cette diminution est due à une mauvaise imbibition des graines, liée essentiellement à l'augmentation de la pression osmotique externe (Öztürk *et al.*, 2006), à la toxicité de l'ion Cl<sup>-</sup> (Esechie 1995 ; Sosa *et al.* 2005), diminution de l'utilisation des réserves des graines (Othman, 2006).

D'autres paramètres peuvent être aussi touchés par le stress salin ; diminution de la longueur des racines (Khodarahmpour *et al.* 2012), diminution de la longueur du coléoptile, diminution du nombre de racine et diminution de la vitesse de germination (Adjel *et al.*, 2013).

Läuchli & Grattan (2007), propose un schéma (figure 5) qui montre la relation entre le taux de germination et le temps après l'imbibition des semences à différents niveaux de salinité ; plus le niveau de salinité est élevé le temps de démarrage de germination est long.



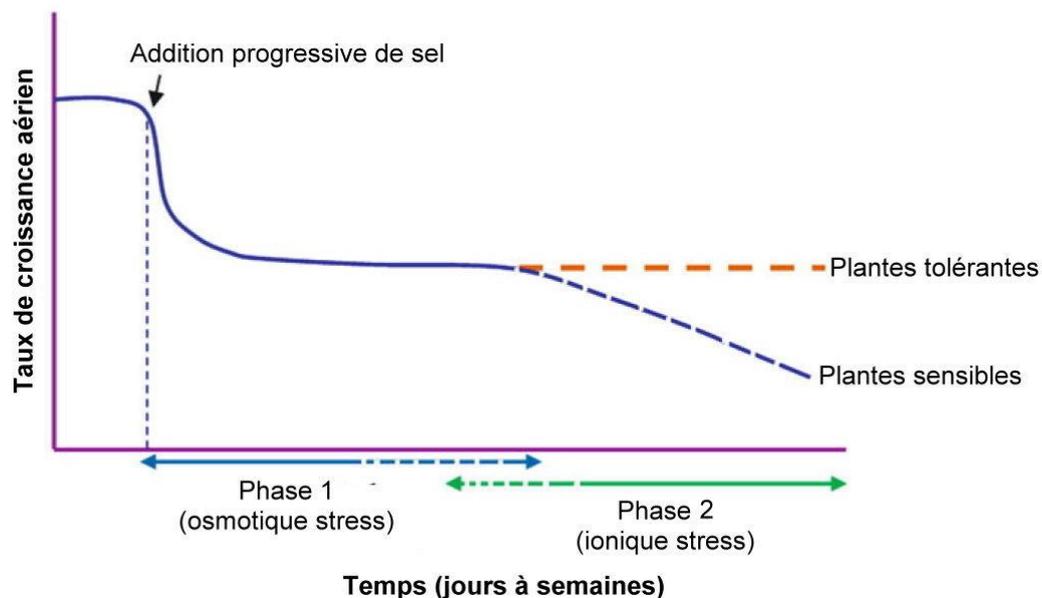
**Figure 5 : Relation entre le taux de germination et le temps après l'imbibition des semences à différents niveaux de salinité (Läuchli & Grattan 2007)**

### 5.2.2. Photosynthèse

La photosynthèse est inhibée avec de fortes accumulations en  $\text{Na}^+$  et/ou  $\text{Cl}^-$  dans les chloroplastes (Hasanuzzaman, Nahar and Fujita, 2013). Les conséquences de la diminution de la photosynthèse sont la diminution de la croissance et du rendement (Sudhir and Murthy, 2004), diminution de la conductance stomatique ce qui diminue la disponibilité de  $\text{CO}_2$  dû à la fermeture des stomates (Parida and Das, 2005). La photosynthèse est aussi limitée par la diminution de la chlorophylle (Thouraya *et al.*, 2013), par l'effet antagoniste du NaCl sur l'absorption de l'azote (N) qui entre dans la composition de la structure de la molécule de chlorophylle (Grattan and Grieve, 1999a).

### 5.2.3. Croissance

La salinité a un effet négatif sur la croissance des plantes ; chez la tomate (Masmoudi, 2011), chez l'atriplex (Faye *et al.*, 2014), le mil (Radhouane, 2008) le riz (Abbas *et al.*, 2012), l'orge (Adjel *et al.*, 2013). Cet effet peut s'expliquer par la réduction de la capacité de la plante d'absorber de l'eau ce qui conduit à une croissance lente et par l'eau chargée en sels qui entre dans le flux de transpiration, peut nuire les cellules des feuilles (Munns, 2005). Les feuilles montrent une diminution de leur longueur et leur surface sous l'effet de la salinité (Heuer and Nadler, 1995), avec un taux de mortalité selon la concentration des sels (Yeo *et al.*, 1991). Munns (2005), a divisé la réponse des plantes à la salinité en deux phases ; la première phase caractérisée par une réduction plus rapide de la croissance due à l'effet osmotique ; la deuxième phase, est beaucoup plus lente, due à l'accumulation de sel dans des feuilles, ce qui conduit à la l'effet toxique des sels qui agit sur les plantes (figure 6).



**Figure 6 : Présentation des deux phases de croissance des plantes sous stress salin ( Munns, 2005)**

La deuxième phase dépend essentiellement des espèces (tolérantes ou sensibles) ; les plantes sensibles meurent rapidement, alors que les plantes tolérantes restent plus longtemps pour mourir. La salinité a aussi des effets sur la morphologie des plantes, en effet, des fougères stressées forment des feuilles plus petites et plus épaisses avec des tiges et des racines plus courtes (Jampeetong and Brix, 2009).

#### 5.2.4. Nutrition minérale

La nutrition minérale en conditions de stress salin diffère d'une espèce à une autre (Bernstein, 1975). Ce qui est sûr c'est le déséquilibre entre l'absorption des éléments nutritifs avec des valeurs extrêmes des rapports :  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ , et  $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$  (Grattan and Grieve, 1999b). La réduction de l'absorption de l'azote est due à l'antagonisme entre  $\text{NO}_3^-$  et le  $\text{Cl}^-$  (Bar *et al.*, 1997). La disponibilité du phosphore diminue à cause de la force ionique qui diminue l'activité de  $\text{PO}_4^{3-}$ , le contrôle des concentrations de phosphates par le processus d'adsorption et la faible solubilité du phosphore et du calcium (Hasanuzzaman, Nahar and Fujita, 2013). Le Na ne réduit non seulement la disponibilité du  $\text{Ca}^{++}$  mais aussi son transport et sa mobilité dans la plante (Grattan and Grieve, 1999b). L'effet du Na se manifeste aussi par une diminution de la teneur en  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{++}$  dans les tissus des plantes qui est due principalement au phénomène d'antagonisme (Hu and Schmidhalter, 2005).

Pour les oligo-éléments, leur absorption dépend de leur solubilité, le pH de la solution du sol, du potentiel oxydoréduction de la solution du sol et la nature des points de liaison sur les surfaces des particules organiques et inorganiques (Hasanuzzaman, Nahar and Fujita, 2013).

### **5.2.5. Absorption d'eau et la transpiration**

La salinité provoque un déséquilibre osmotique ce qui conduit à une diminution de l'absorption d'eau et de la transpiration (Bernstein, 1975). Ainsi pour garder les tissus humides et limiter les pertes d'eau, les stomates se ferment (Fricke *et al.*, 2004). Parmi les conséquences de la diminution de la transpiration, la réduction de l'accumulation des ions toxiques par la diminution de l'absorption hydrique racinaire (Kerstiens *et al.*, 2002). La fermeture des stomates est induite par une accumulation de l'acide abscissique (Fricke *et al.*, 2004).

La diminution de la transpiration est liée à une diminution de la conductivité hydraulique, cette dernière est susceptible d'être le résultat de la diminution de l'activité des aquaporines (*protéines membranaires qui forment des « pores » perméables à l'eau et empêchant les ions de pénétrer dans la cellule*) des racines (Vysotskaya *et al.*, 2010).

Cependant, la plasticité de la racine et sa capacité d'adaptation à l'absorption d'eau est aussi la conséquence de l'architecture des racines et de leur métabolisme (Del-Carmen Martínez-ballesta *et al.*, 2011).

### **5.2.6. Rendement**

La salinité du sol (ECe) ou des eaux d'irrigation (ECw) peuvent réduire le rendement jusqu'à une valeur maximale de la conductivité électrique où le rendement est nul (tableau 3) (Ayers and Westcot, 1985). Le taux de réduction de rendement est suivant la conductivité électrique et l'espèce.

**Tableau 3 : Tolérance des cultures et leur rendement potentiel influencés par la salinité des eaux d'irrigation (ECw) ou la salinité des sols (ECe)**

Cultures	100%		90%		75%		50%		0%	
									"maximum"	
	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw
<b>Orge</b> ( <i>Hordeum vulgare</i> )	8.0	5.3	10	6.7	13	8.7	18	12	28	19
<b>Coton</b> ( <i>Gossypium hirsutum</i> )	7.7	5.1	9.6	6.4	13	8.4	17	12	27	18
<b>Betterave sucrière</b> ( <i>Beta vulgaris</i> )	7.0	4.7	8.7	5.8	11	7.5	15	10	24	16
<b>Sorgho</b> ( <i>Sorghum bicolor</i> )	6.8	4.5	7.4	5.0	8.4	5.6	9.9	6.7	13	8.7
<b>Blé tendre</b> ( <i>Triticum aestivum</i> )	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.3	13	8.7	20	13
<b>Blé dur</b> ( <i>Triticum durum</i> )	5.7	3.8	7.6	5.0	10	6.9	15	10	24	16
<b>Soja</b> ( <i>Glycine max</i> )	5.0	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5.0	10	6.7
<b>Arachide</b> ( <i>Arachis hypogaea</i> )	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4
<b>Riz</b> ( <i>Oriza sativa</i> )	3.0	2.0	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11	7.6
<b>Maïs</b> ( <i>Zea mays</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
<b>Fève</b> ( <i>Vicia faba</i> )	1.5	1.1	2.6	1.8	4.2	2.0	6.8	4.5	12	8.0
<b>Haricot</b> ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
<b>P. de terre</b> ( <i>Solanum tuberosum</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
<b>Tomate</b> ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )	2.5	1.7	3.5	2.3	5.0	3.4	7.6	5.0	13	8.4
<b>Concombre</b> ( <i>Cucumis sativus</i> )	2.5	1.7	3.3	2.2	4.4	2.9	6.3	4.2	10	6.8
<b>P. dattier</b> ( <i>Phoenix dactylifera</i> )	4.0	2.7	6.8	4.5	11	7.3	18	12	32	21
<b>Fraise</b> ( <i>Fragaria sp.</i> )	1.0	0.7	1.3	0.9	1.8	1.2	2.5	1.7	4	2.7

(Ayers and Westcot, 1985)

## 6. Mécanismes d'adaptation des plantes à la salinité

### 6.1. Eléments protecteurs contre le stress salin

#### 6.1.1. Osmoprotectants (solutés ou osmolytes compatibles)

Ce sont des composés ubiquitaires de faibles masses moléculaires (osmolytes), utilisés par les organismes vivants pour répondre aux stress environnementaux ou pour réguler finement des propriétés moléculaires dans la cellule (Harries and Rösger, 2008).

L'accumulation de ces osmolytes est proportionnelle à changer l'osmolarité (concentration osmotique), protégeant ainsi les structures cellulaires et maintenir l'équilibre osmotique par le maintien d'afflux hydrique (Hasegawa *et al.*, 2000).

Sairam & Tyagi (2004), a regroupé les différentes osmolytes dans le tableau suivant :

**Tableau 4 : Les plus fréquentes osmolytes qui s'accumulent dans les plantes au cours de la salinité et de la sécheresse**

Glucides	Composés azotés	Acide organiques
Ssaccharose	Protéines	Oxalate
Sorbitol	Bétaïne	Malate
Mannitol	Glutamate	
Glycerol	Aspartate	
Arabinitol	Glycine	
Pinitol	Choline	
Autres polyols	Putrescine	

#### **6.1.1.1. Proline**

La proline est un acide aminé qui joue un rôle multifonctionnel dans la défense contre le stress. Elle joue un rôle essentiel dans la protection des structures subcellulaires, des macromolécules, piégeant les radicaux libres, et tamponner le potentiel redox cellulaire sous stress osmotique (Porcel, Aroca and Ruiz-Lozano, 2012). L'accumulation de la proline chez plusieurs espèces est corrélée avec la tolérance au stress, sa concentration est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que chez celles sensibles (Ashraf and Foolad, 2007). C'est ce que Chauhan, Chauhan, & Kumar, (1980), ont trouvé aussi sur le blé et l'orge. Donc l'accumulation de la proline est peut être utilisée comme outil de sélection pour la tolérance au stress salin (Zid and Grignon, 1991). Chez d'autres espèces l'accumulation de la proline a été enregistrée dans les conditions de stress salin ; chez le riz (Lutts, J.M. Kinet and Bouharmont, 1996), le sorgho (De-Lacerda *et al.*, 2003), la betterave sucrière (Ghoulam, Foursy and Fares, 2002), tournesol (Alvarez, Tomaro and Benavides, 2003), le maïs (Cha-Um and Kirdmanee, 2009), le palmier dattier (Djibril *et al.*, 2005).

#### **6.1.1.2. Glycine bêtaïne**

Elle appartient à un groupe de composés comme la proline « solutés compatibles », qui sont de petits métabolites organiques, très solubles dans l'eau et non toxiques à des concentrations élevées (Chen and Murata, 2008). La glycine bêtaïne s'accumule à des niveaux osmotiquement significatifs chez de nombreuses plantes tolérantes au stress salin (Chen and Murata, 2011). Parmi les familles qui accumulent la glycine bêtaïne, on cite les chénopodiacées (Wyn Jones and Gorham, 1983), Amaranthacées, Astéracées, Solanacées, Poacées (Gorham, Jones and McDonnell, 1985).

Chez l'orge l'accumulation de la glycine bêtaïne en stress salin est plus élevée dans les parties aériennes que dans les racines (Wyn Jones and Storey, 1978b), avec des concentrations similaires en réponse au polyéthylène glycol "PEG" (Wyn Jones and Storey, 1978a). Certaines espèces ont la capacité de synthétiser cette substance telles que l'épinard et l'orge, et l'accumulent à des

niveaux relativement élevés dans leurs chloroplastes alors que d'autres espèces telles que l'Arabidopsis et le tabac, ne synthétisent pas cette substance (Sakamoto and Murata, 2002). Parmi les principaux rôles de la glycine bêtaïne, la stabilisation des membranes et des protéines complexes (Chen and Murata, 2002), la réduction des Dérivés Réactifs de l'Oxygène (DRO = ROS « Reactive Oxygen Species ») comme les radicaux libres qui causent des dommages aux cellules (Ashraf and Foolad, 2007), réduction de l'accumulation de  $\text{Na}^+$  et maintenir une bonne accumulation de  $\text{K}^+$  (Hasanuzzaman, Nahar and Fujita, 2013).

### **6.1.1.3. Tréhalose**

Le tréhalose est un sucre qui a des fonctions de solutés compatibles, son taux s'élève chez les plantes sous stress abiotique. Il joue un rôle osmoprotectif dans les réponses physiologiques, permettant aux plantes de mieux tolérer les effets néfastes du stress abiotique (Nounjan, Nghia and Theerakulpisut, 2012). Ces derniers auteurs ajoutent que chez le riz, un apport exogène du tréhalose a réduit le rapport  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ . Zeid (2003), signale qu'un prétraitement des semences du maïs avec le tréhalose a amélioré la stabilité plasmique des membranes et l'augmentation du rapport  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ . Cependant une étude montre que le tréhalose peut être toxique aux plantes à forte concentration (Schluepmann *et al.*, 2003).

### **6.1.2. Polyamines**

Les polyamines sont des petits composés organiques plicationiques possédant deux ou plusieurs fonctions amine ( $\text{NH}_2$ ). Présents dans tous les organismes vivants et jouent un rôle important dans la protection des plantes contre le stress (Alcázar Hernández *et al.*, 2012). Srivastava (1982) cité par Smith (1985), suggère qu'en conditions de stress, les polyamines interagissent avec des groupes anioniques sur les membranes, ce qui empêche les fuites et stabilisant ainsi les membranes. Parmi les polyamines qui interviennent au stress, on trouve spermidine, spermine et putrescine (Hasanuzzaman, Nahar and Fujita, 2013). Malgré que la fonction physiologique reste toujours non claire, certains travaux notent que les polyamines ont un effet de signalisation cellulaire intrinsèque avec la voie hormonale de l'ABA (Alcázar Hernández *et al.*, 2012) et l'oxyde nitrique (NO) une autre molécule de signalisation (Tun *et al.*, 2006). En outre plusieurs travaux ont montré que l'apport exogène des polyamines aux plantes en stress améliore le comportement des plantes dans ces conditions (Duan, Li, Guo, & Kang, 2008 ; Zhang, Li, Guo, & Tezuka, 2009 ; Liu, Zhou, Zhang, & Liu, 2005).

### **6.1.3. GABA ( $\gamma$ -Aminobutyric Acid) : Acide $\gamma$ -aminobutyrique**

L'acide gamma- aminobutyrique est un acide aminé non protéique qui s'accumule chez plusieurs espèces végétales soumis à une forte salinité ou d'autres contraintes environnementales (Kinnersley & Turano, 2000 ; Renault *et al.*, 2010). Il peut jouer un rôle dans régulation du pH et

la pression osmotique cytosolique (Bouché and Fromm, 2004). Un essai sur la tomate soumise au stress salin a montré une accumulation du GABA dans les feuilles et les racines (Bolarín *et al.*, 1995). Le GABA est principalement synthétisé à partir de glutamate dans le cytosol puis transportés vers les mitochondries (Shelp, Bown and Mclean, 1999).

#### **6.1.4. Hormones végétales**

##### **6.1.4.1. Acide abscissique (ABA)**

L'acide abscissique (ABA) est une phytohormone qui joue un rôle important dans la réponse des plantes aux divers stress abiotiques et aussi la signalisation du stress (Hasanuzzaman, Nahar and Fujita, 2013). L'ABA est rapidement accumulé suite aux différents types de stress environnementaux. Il favorise la fermeture des stomates, inhibe l'ouverture des stomates pour réduire la perte d'eau par transpiration, induit l'expression de nombreux gènes liés au stress (Krasensky and Jonak, 2012). Un essai sur le haricot a montré une corrélation positive entre l'accumulation de l'ABA et la croissance en conditions de stress salin (Sibole *et al.*, 1998). Kempa, Krasensky, Dal Santo, Kopka, & Jonak (2008), signale que chez le maïs sous stress salin accumule 10 fois plus d'ABA dans les racines que dans les feuilles. Cependant chez l'orge soumis au stress salin a montré au début on enregistre une cessation d'allongement des feuilles, puis la croissance a repris suite à une augmentation du taux d'ABA (Fricke *et al.*, 2004). Chez le riz les variétés tolérantes ont accumulé plus d'ABA que les variétés sensibles en conditions de stress salin (Saeedipour, 2011).

##### **6.1.4.2. Acide indole acétique (AIA)**

Le stress salin a provoqué une diminution du taux d'AIA chez le blé (Sakhabutdinova *et al.*, 2003) et chez le riz (Nilsen, E. T., & Orcutt, 1996). Cependant chez la tomate sous stress salin une corrélation a été enregistré entre le taux de salinité et le taux d'AIA (Babu, Singh and Gothandam, 2012). Plusieurs auteurs ont signalé que l'application de l'AIA aux plantes améliore leur comportement vis-à-vis au stress salin ; chez la tomate (Salama and Khodary, 1981) ; chez la maïs (Khalid *et al.*, 2013 ; Kaya, Ashraf, Dikilitas, & Tuna, 2013); chez le blé (Abdel-samad, 2013 ; Majid *et al.* 2013).

##### **6.1.4.3. Acide salicylique (AS)**

L'AS est connu depuis longtemps par ses fonctions pour le stress biotique, récemment plusieurs études ont montré aussi son effet bénéfique aux plantes pour le stress abiotique. En effet, l'AS joue un rôle important à la réponse des plantes au stress salin, qui réduit les dommages oxydatifs causés par ce type de stress chez l'*Arabidopsis* (Borsani, Valpuesta and Botella, 2001). L'AS peut aider la plante sous stress par la synthèse de composés protecteurs tels que les polyamines (Janda *et al.*, 2007) ; par l'augmentation du rapport du  $K^+/N^+$  (Gholamreza, Mohammadi and Hedayat,

2011) ; par l'augmentation du taux de certains sucres tels que glucose, le fructose, le raffinose et le stachyose (Dong, Wang and Shang, 2011) ; par l'amélioration de l'assimilation de l'azote et le soufre (Nazar *et al.*, 2011) ; par l'augmentation du taux de la proline (Shahba, Baghizadeh and Yosefi, 2010).

#### **6.1.4.4. Acide gibbérellique (AG ou GA3)**

L'AG est l'une des hormones qui joue un important rôle pour réduire les dommages causés par le stress salin. En effet, l'application de l'AG améliore significativement la longueur des plants et la biomasse chez le soja sous stress salin (Hamayun *et al.*, 2010). Parmi les paramètres que l'AG améliore, la germination avec tous ses grandeurs (Kandil, Sharief, Abido, & Awed, 2014 ; Abdelhamid & Mohamed, 2014) et l'équilibre hormonale (Hasanuzzaman, Nahar and Fujita, 2013). L'AG peut aussi accroître la croissance des plantes sous stress salin par l'augmentation de la teneur en azote et en magnésium dans les feuilles et les racines (Tuna *et al.*, 2008). Un autre essai conduit en conditions de stress salin des plantes de blé a montré que le traitement par l'AG a diminué le taux de Na<sup>+</sup> dans les parties aérienne et souterraine avec une augmentation du taux de Ca<sup>++</sup> et K<sup>+</sup> dans les racines (Iqbal and Ashraf, 2013). Ashraf, Karim, & Rasul (2002), ajoute que le l'application de l'AG aux plantes stressées par NaCl améliore la photosynthèse.

#### **6.1.4.5. Acide jasmonique (AJ)**

L'acide jasmonique (AJ) et de ses esters méthyliques sont omniprésents dans les plantes qui ont des propriétés hormonales. Ce sont les régulateurs cellulaires importants impliqués dans de différents processus, tels que, la croissance des racines, et la fermeture stomatique (Hossain *et al.*, 2011) ; fertilité, maturation des fruits et sénescence (Wasternack and Hause, 2002) ; et les stress environnementaux (Cheong and Choi, 2003). Lehmann *et al.* (1995), rapportent que le prétraitement des plantes stressées avec l'AJ, améliore leur comportement. C'est ainsi que le prétraitement des plants d'orge avec l'AJ sous stress salin a amélioré la photosynthèse et diminué la teneur des tissus aériens en Na<sup>+</sup> (Walia *et al.*, 2007). Le taux de l'AJ est plus faible chez les variétés du riz sensibles que chez les variétés tolérantes (Kang *et al.*, 2005). Par conséquent, des niveaux élevés d'AJ dans les plantes après un stress salin aide les plantes à s'adapter à ces conditions (Javid *et al.*, 2011).

#### **6.1.4.6. Brassinostéroïdes (BRs)**

Les Brassinostéroïdes sont un groupe d'hormones végétales isolés la première fois dans le pollen du colza avec une activité qui favorise la croissance, (Rao *et al.*, 2002) ; la germination des graines, la rhizogenèse, la sénescence et la chute des feuilles (Sasse, 1997) ; et dans la réponse des plantes aux stress environnementaux (Krishna, 2003). L'application exogène des BRs a montré une amélioration du comportement de plusieurs espèces sous stress salin telles que ; chez le blé (Ali,

Athar, & Ashraf, 2008) ; chez la moutarde brune (Hayat *et al.*, 2000) ; chez la tomate (Ali *et al.*, 2006) ; chez le riz (Anuradha & Rao, 2001 ; Anuradha & Rao, 2003) ; chez le poivron (Houimli, Denden and Ben-El-Hadj, 2008). Les BRs peuvent aider les plantes à combattre le stress salin par, l'amélioration de la photosynthèse (Anuradha & Rao, 2003 ; Eleiwa, Bafeel, & Ibrahim, 2011), la réduction des effets toxiques de la salinité et la réduction des dommages oxydatifs (Arora *et al.*, 2008) ; l'amélioration de l'absorption des macro et micro éléments (N, P, K, Fe, Mn, Zn et Cu) dans de la paille et les grains des céréales (Eleiwa and Ibrahim, 2011).

#### **6.1.4.7. Cytokinines (CKs)**

En plus de ses fonctions physiologiques les cytokinines ont aussi une action positive sur le comportement des plantes en milieu salin (Iqbal, Ashraf and Jamil, 2006). Cette action est en interaction avec d'autres hormones spécialement les auxines et l'acide abscissique (Iqbal *et al.*, 2006). Les plantes sous stress salin montrent une augmentation du taux de cytokinines (Walker and Dumbroff, 1981). En effet, l'application exogène des Cytokinines et de Acide indole acétique a diminué le taux de  $\text{Na}^+$  et augmenté le taux de  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{K}^+$  dans les feuilles (Kaya, Tuna and Okant, 2010). Les CKs peuvent agir aussi en captant les radicaux libres qui peuvent être impliquées dans le mécanisme antioxydant (Chakrabarti and Mukherji, 2003).

#### **6.1.4.8. Triazoles (TRs)**

Les triazoles sont un groupe de composés utilisés soit comme fongicides ou comme hormone de croissance chez les plantes, qui peuvent protéger les plantes contre les stress environnementaux (Fletcher *et al.*, 2000). L'application de paclobutrazole sur *Catharanthus roseus* a permis un meilleur comportement de cette plante en conditions de stress salin en améliorant le système de défense antioxydant (Abdul-Jaleel *et al.*, 2007). D'autres études ont montré que le prétraitement ou l'application directe des triazoles aident les plantes à lutter contre la salinité, chez le colza (Akbari *et al.*, 2011), chez *Datura innoxia* and *Datura stramonium* (Al-Rumaih and Al-Rumaih, 2007), chez le blé (Hajihashemi *et al.*, 2007), chez *Vigna unguiculata* (Manivannan *et al.*, 2008), chez l'arachide (Muthukumarasamy and Panneerselvam, 1997), chez le soja (Panneerselvam, Muthukumarasamy and Rajan, 1998), chez *Citrus karna* (Sharma *et al.*, 2011), chez la tomate (Tuna, 2014).

### **6.1.5. Molécules de signalisation**

#### **6.1.5.1. Peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée $\text{H}_2\text{O}_2$ )**

Les stress abiotiques conduisent à la surproduction du dérivé réactif de l'oxygène (DRO ou en anglais *reactive oxygen species* : ROS), dans les plantes et qui sont hautement réactives et toxiques et peuvent causer des dommages aux protéines, aux lipides, aux carbohydrates et à l'ADN, ce qui aboutit finalement au stress oxydatif. L'DRO comprend à la fois des radicaux libres (superoxyde

$O_2^-$ , hydroxyle  $HO^\cdot$ , hydroperoxyde  $HO_2^\cdot$ , radicale alcoyle  $RO^\cdot$ ) et des formes non-radicales (l'oxygène singulet  $^1O_2$ , peroxyde d'hydrogène  $H_2O_2$ ) (Gill and Tuteja, 2010). La fonction  $H_2O_2$  en tant que molécule de signalisation dans la transduction des signaux de stress (Hernandez *et al.*, 2010). Le trempage des grains de blé tendre dans l' $H_2O_2$ , puis les plants croissant dans un milieu salin ont révélé une diminution du temps de germination moyen, une meilleure capacité photosynthétique, un rapport  $K^+/Na^+$  plus élevé. Ces résultats suggèrent que l' $H_2O_2$  signale active les antioxydants dans les semences, qui persistent dans les plants pour réduire les dommages oxydatifs (Wahid *et al.*, 2007). Fedina, Nedeva, & Çiçek (2009), ajoutent que les plants d'orge cultivés sous stress salin prétraités avec  $H_2O_2$  ont montré une diminution de la teneur en  $Cl^-$  dans les feuilles.

#### **6.1.5.2. Oxyde Nitrique (monoxyde d'azote NO)**

Le monoxyde nitrique (NO), un radical libre de forme gazeuse produit dans les cellules végétales, appartient à la famille de molécules espèces azotées réactives (EAR). Quand un déséquilibre de l'EAR a lieu qui est dû aux conditions environnementales défavorables, certaines de ces molécules peuvent causer des dommages directs ou indirects au niveau cellulaire ou moléculaire (Corpas *et al.*, 2011). Des niveaux plus élevés de NO sont corrélées avec des rapports plus élevés de  $K^+/Na^+$  chez *Arabidopsis thaliana* (Wang *et al.*, 2009), chez le blé tendre (Ruan, Shen and XU, 2004b). La teneur des tissus en NO peut être élevée par l'application exogène des donneurs de NO tels que DEANO; DETA/NO; GSNO et SNP (Mur *et al.*, 2013). Cette application peut améliorer la tolérance au sel en atténuant les dommages oxydatifs en augmentant l'activité des enzymes antioxydantes (Poór, Laskay and Tari, 2015), aussi par l'amélioration de la photosynthèse (Uchida *et al.*, 2002), par l'augmentation du taux de la proline et l'acide abscissique (Ruan, Shen and XU, 2004a), par l'augmentation du taux de la glycine bêtaïne (Khan, Siddiqui, Mohammad, & Naeem, 2012).

#### **6.1.5.3. Signalisation par le calcium**

La signalisation par le calcium dans les conditions de stress est caractérisée par une augmentation de la concentration en  $Ca^{2+}$  interne, provenant soit de l'entrée de calcium venant du milieu extérieur par les canaux calciques, soit de sa libération à partir des réserves internes au niveau du réticulum endoplasmique (Mahajan, Pandey and Tuteja, 2008). Le même auteur ajoute qu'un taux élevé en calcium d'une durée prolongée devient toxique (précipite le phosphate), mais la cellule maintient cet élément en faible taux grâce aux protéines capables de fixer le calcium.

La réception des signaux calciques est assurée par trois familles de protéine : Les calmodulines (CaM), les protéines kinases dépendant du calcium (CDPK, " calcium-dependent protein kinase ") et Les protéines SOS (" salt overly sensitive ") (Yang and Poovaiah, 2003).

#### **6.1.5.4. Signalisation par la variation du pH cytoplasmique**

En condition de stress salin, le pH intracellulaire peut se modifier, selon la composante ionique et osmotique du stress salin ainsi que de l'espèce végétale (Kader and Lindberg, 2010). Sous stress salin (NaCl), le cytoplasme tend à s'acidifier, cependant si le stress est osmotique (mannitol, sorbitol) cela n'influe pas sur le pH cytoplasmique (D'Onofrio and Lindberg, 2009). Alors que chez les espèces tolérantes à la salinité, c'est plutôt une alcalinisation du cytoplasme et une acidification de la vacuole qui se produit (Kader and Lindberg, 2008).

#### **6.1.6. Antioxydants**

##### **6.1.6.1. Acide ascorbique (vitamine C)**

L'acide ascorbique (vitamine C) est synthétisé dans les mitochondries, il est considéré comme le plus puissant antioxydant de la cellule des plantes (Racchi, 2013). Les plantes de pomme de terre tendent à augmenter le taux d'acide ascorbique avec l'augmentation des niveaux du stress salin (Mohamed, Matter and Saker, 2010). Ainsi l'application exogène de l'acide ascorbique minimise les dommages causés par les processus oxydatifs grâce à une fonction synergique avec d'autres antioxydants (Athar, Khan and Ashraf, 2008). Une autre étude rapporte que l'application de la vitamine C était efficace pour atténuer les effets néfastes du stress salin sur la croissance des plantes en raison d'augmentation de la surface foliaire, l'amélioration de la teneur en chlorophylle, augmentation du taux de la proline et en caroténoïdes et diminution de la teneur en H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Fercha, Gherroucha and Baka, 2011).

##### **6.1.6.2. Glutathione (GSH)**

Le glutathion (GSH) est un antioxydant puissant qui empêche les dommages cellulaires causés par des espèces réactives de l'oxygène (ERO) (Pompella *et al.*, 2003). La principale fonction du GSH pour la protection contre le stress oxydatif est la réduction du H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Foyer and Halliwell, 1976). Selon Hussain *et al.* (2008), le stress salin induit une augmentation de l'assimilation du soufre et de la biosynthèse GSH et de la cystéine pour réduire les dommages du stress oxydatif provoqué par les stress salins. Le traitement exogène par le GSH a amélioré l'activité enzymatique antioxydante (Kattab, 2007), a maintenu la perméabilité de la membrane plasmique (Aly-Salama and Al-Mutawa, 2009), a amélioré les paramètres de croissance, le taux des sucres totaux, les phénols totaux, le taux de xanthophylle et le contenu en ions minéraux (Rawia, Taha and Ibrahiem, 2011).

##### **6.1.6.3. Tocophérols (TCP)**

Tocophérols et tocotriénols appartiennent à la famille de la vitamine E d'antioxydants sous quatre différentes formes : alpha ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ ), et delta ( $\delta$ ) (Hasanuzzaman, Nahar and Fujita, 2014). Cet antioxydant joue un rôle évident dans la tolérance des plantes aux stress abiotiques.

Cependant, la protection de stress dépend largement des espèces végétales, de l'intensité du stress, et de l'état physiologique de la plante (Munné-Bosch, 2005). La pulvérisation d' $\alpha$ -Tocophérol sur le blé tendre en conditions de stress salin a amélioré les activités enzymatiques antioxydantes. Cela a contribué à réduire les niveaux de peroxyde d'hydrogène et de la peroxydation lipidique et d'améliorer la perméabilité membranaire. Ainsi une diminution d'accumulation du sodium et du chlore et augmentation de teneurs en calcium, potassium et magnésium (Farouk, 2011). D'autre part une autre étude a montré que la vitamine E améliore la tolérance des plantes au stress salin non seulement en réduisant le stress oxydatif, mais aussi par le contrôle de l'homéostasie de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  et par l'équilibre hormonal (Ellouzi *et al.*, 2013).

### **6.1.7. Eléments Traces**

Le sélénium (Se), et le silicium (Si) sont considérés comme deux éléments bénéfiques pour les plantes et ne sont pas requis par toutes les plantes. Ces deux éléments ont été rapportés pour améliorer la résistance aux stress abiotiques (Hasanuzzaman, Nahar and Fujita, 2013).

#### **6.1.7.1. Sélénium (Se)**

Le sélénium est bénéfique à faibles doses mais toxique à des doses plus élevées (Hasanuzzaman, Nahar and Fujita, 2013). Le Se aide les plantes à résister à certains stress abiotiques tels que le stress salin (Hawrylak-Nowak, 2009), ceci en renforçant leur capacité antioxydante contre le stress oxydatif provoqué par des espèces réactives de l'oxygène (ERO) (Hasanuzzaman and Fujita, 2012). L'application exogène du Se aux plantes exposées au stress salin a montré une amélioration de la photosynthèse et une augmentation de la teneur en proline (Hawrylak-Nowak, 2009), diminue d'une façon significative le taux de  $\text{H}_2\text{O}_2$  et augmente l'activité de certaines enzymes antioxydantes (Diao *et al.*, 2014)

#### **6.1.7.1. Silicium (Si)**

Le silicium (Si) est un élément qui aide la plante à confronter le stress abiotique par stimulation enzymatique et non enzymatique antioxydants (Liang *et al.*, 2003). Les mécanismes possibles de Si protecteurs contre le stress salin peuvent inclure ; l'amélioration de la photosynthèse (Liang, 1997) ; l'augmentation de l'état hydrique des plantes (Romero-Aranda, Jurado and Cuartero, 2006) ; réduit la perméabilité membranaire et améliore sa structure et de la stabilité, réduit l'absorption du  $\text{Na}^+$  et améliore l'absorption du  $\text{K}^+$  (Liang *et al.*, 2007), augmente la biomasse et la teneur en chlorophylle (Tahir *et al.*, 2012).

## **6.2. Stratégie d'adaptation ionique**

Les ions chlore ( $\text{Cl}^-$ ) et sodium ( $\text{Na}^+$ ) absorbés par les racines, transportés par la sève xylémique jusqu'aux tiges et feuilles ; ces ions sont soit stockés (plantes de type includer), dans les feuilles qui sont plus riche en  $\text{Na}^+$  que les tiges et les racines (mécanisme de tolérance au sel est dû à la

compartimentation des ions toxiques en particulier l'ion sodium dans la vacuole) ; soit au contraire ils sont très peu retenus dans les feuilles (plantes de type excluser) et ces ions sont alors revéhiculés par la sève phloémique jusqu'aux racines (Levigneron *et al.*, 1995).

### **6.2.1. Inclusion et compartimentation des ions**

En général, chez les plantes tolérantes, le  $\text{Na}^+$  est bien compartimenté dans la vacuole (Cheeseman, 1988), pour éviter leur toxicité (Munns & Tester, 2008). Cette vacuole est le compartiment cellulaire le plus volumineux qui permet un stockage massif de  $\text{Na}^+$ . Une fois la capacité d'accumulation de la vacuole est saturée, les ions  $\text{Na}^+$  vont s'accumuler soit dans le cytoplasme, soit dans les parois cellulaires des parties aériennes (Munns, 1993). En plus, une plante est plus tolérante au stress salin lorsqu'elle maintient un rapport optimum du rapport  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  dans le cytosol (Singla-Pareek *et al.*, 2008). Une étude menée sur l'orge a montré que le  $\text{Na}^+$  s'accumule préférentiellement au niveau de l'épiderme des feuilles, ce processus permet de stocker le  $\text{Na}^+$  dans les cellules épidermiques, qui présentent de grandes vacuoles, au lieu de le stocker dans les cellules du mésophylle (partie interne des feuilles) chargées de l'activité photosynthétique (Karley, Leigh and Sanders, 2000). Une autre stratégie d'adaptation à la salinité chez plusieurs plantes, consiste à l'évitement de l'accumulation de  $\text{Na}^+$  dans les tissus juvéniles en pleine croissance (Yeo and Flowers, 1982).

### **6.2.2. Exclusion**

Pour ce type de tolérance, les racines des plantes doivent exclure la majeure partie du  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  dissous dans la solution du sol, et d'échapper à leur accumulation progressive dans les pousses à des niveaux toxiques (Munns, 2005). L'exclusion débute avec la sélectivité de la membrane racinaire, et de l'existence de transporteurs sélectifs et d'un transport vers le milieu extérieur des ions déjà absorbés (Apse and Blumwald, 2007). L'exclusion du sodium est effectuée à l'aide d'une série combinée de protéines de type SOS « salt overly sensitive » (Zhu, 2003) ; SOS1 (transporteur membranaire), est un antiport  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  localisé au niveau de la membrane plasmique, qui joue un important rôle dans le mécanisme d'exclusion de sodium vers le milieu extérieur (Zhu, 2003; Mahajan, Pandey, & Tuteja, 2008) ; SOS2 et SOS3 assurent simultanément la régulation de l'activité de SOS1 et celle de l'antiport vacuolaire NHX1 (Zhu, 2002 ; Qiu *et al.*, 2004). Pour réduire l'accumulation de sodium au niveau aérien de la plante, le complexe protéique SOS interagit avec le transporteur HKT1 (situé sur la membrane plasmique) qui est responsable de la recirculation du sodium des feuilles vers les racines via le phloème (Hauser and Horie, 2010).

### **6.2.3. Ajustement ionique**

Le maintien de la turgescence cellulaire et la croissance des plantes nécessite l'augmentation de la pression osmotique interne pour compenser le stress osmotique externe (Hellebust, 1976).

Cependant, l'augmentation des concentrations vacuolaires en sodium nécessite d'élévation de la pression osmotique des autres compartiments cellulaires pour maintenir leur volume (Amtmann and Leigh, 2010). Mais ceci peut entraîner une toxicité d'ions (Gorham, Jones and McDonnell, 1985). C'est pour cela les plantes ont développé un autre moyen c'est l'ajustement ionique d'ajuster la pression osmotique au niveau du cytoplasme (Shabala and Cuin, 2008). Cet ajustement consiste à une augmentation des concentrations de potassium (Munns and Tester, 2008).

Le rapport  $K^+/Na^+$  dépend des actions des différents systèmes de transport situés au niveau des membranes plasmique et vacuolaire, impliquant les voies plus ou moins sélectives des ions  $K^+$  et  $Na^+$  (Shabala & Cuin, 2008 ; Amtmann & Leigh, 2010).

Selon Shabala & Cuin (2008), les flux d'ions sont assurés par des transporteurs et canaux ioniques, où on trouve deux classes de transporteur des ions  $K^+$  et  $Na^+$  :

- Les transporteurs à forte affinité pour le potassium (famille KUP-HAK :  $K^+$  uptake transporter – high affinity  $K^+$  uptake transporter),
- Les transporteurs à faible affinité pour les cations (HKT1 : high affinity  $K^+$  transporter et LCT1 : low affinity cation transporter).

En outre, Maathuis & Amtmann (1999), distinguent trois types de canaux responsables du transport de ions  $K^+$  et  $Na^+$  :

- les KIRCs ( $K^+$  inward rectifying channels : canaux régulateurs de l'influx de potassium),
- KORCs ( $K^+$  outward rectifying channels : canaux régulateurs de l'efflux de potassium),
- VICs (voltage independent channels : canaux indépendants du voltage).

## **7. Moyens de lutte contre la salinité**

L'objectif de la lutte contre la salinité est de maintenir des rendements des cultures acceptables. Parmi ces moyens ; le lessivage des sels hors de la zone racinaire avant qu'ils s'accumulent à des niveaux qui pourraient affecter les rendements, le maintien de la disponibilité suffisante de l'eau à tout moment. D'autres pratiques culturales peuvent être utiles, telles que l'irrigation plus fréquente, le nivellement des terres, et les méthodes de semis (Ayers and Westcot, 1985).

### **7.1. Drainage**

La clé pour le bon fonctionnement d'un système de drainage souterrain est la sortie de l'eau de drainage. L'approche la plus efficace pour le drainage est d'installer des drains aussi profond que possible, avec des espacements latéraux plus larges pour augmenter la charge d'eau en sels et de produits chimiques toxiques (Hanson, 2006).

### **7.2. Lessivage des sels**

Pour diminuer le taux de sels dans la rhizosphère, une fraction d'eau de lessivage est ajoutée de plus aux besoins hydriques des plantes (Ayers and Westcot, 1985). Les mêmes auteurs ajoutent

que la fraction de lessivage (LR : leaching requirement) est calculée à partir de la salinité de l'eau d'irrigation ( $EC_w$ ) et de la tolérance de la culture à la salinité du sol, mesurée en extrait de pâte saturée, pour un rendement donné ( $EC_e$ ) :

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - EC_w}$$

La  $EC_e$  pour chaque culture adaptée au degré tolérable de perte de rendement généralement de 10% ou moins, mais pour une eau d'une salinité modérée à élevée ( $> 1,5$  dS/m), il est préférable d'utiliser la valeur de la  $EC_e$  pour un potentiel de rendement maximal (100 %) (Hanson, 2006).

Le même auteur ajoute que la hauteur totale annuelle d'eau qui doit être appliquée pour répondre à la fois à la demande de la culture et la fraction de lessivage peut être estimée par cette équation :

$$AW = \frac{ET}{1-LR}$$

Où : AW : hauteur annuelle d'eau à apporter (mm/an),

ET : Demande annuelle de la culture (mm/an),

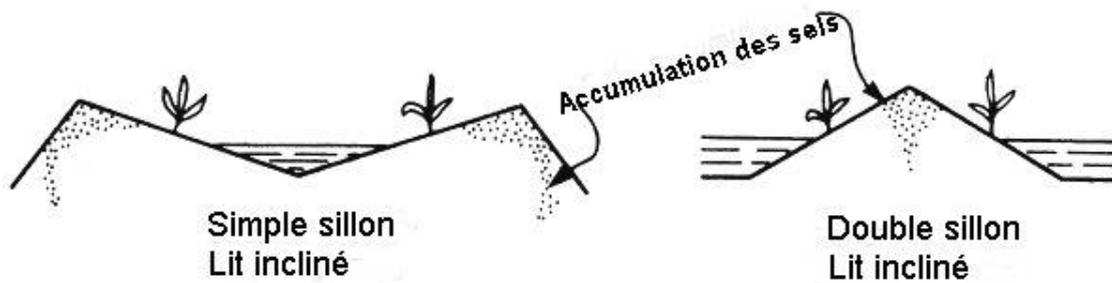
LR : Fraction de lessivage (leaching ratio).

### 7.3. Nivellement du sol

C'est une opération qui consiste à rendre un plan uni et horizontal le sol pour permettre une distribution uniforme de l'eau. Car les sels vont s'accumuler dans les endroits les plus élevés caractérisés par une faible disponibilité d'eau ce qui diminue le taux de germination des semences. Alors que les endroits les plus basses souffrent de l'accumulation excessive d'eau (Ayers and Westcot, 1985).

### 7.4. Méthodes d'irrigation

Les premiers stades d'une culture sont les plus sensibles au stress salin, surtout la germination et la levée. L'accumulation des sels peut être néfaste pour la germination et jeunes plants pour des lits surélevés irrigués par rigoles. La forme du lit de semence et l'emplacement des semences devrait être contrôlés pour minimiser l'effet des sels. La meilleure forme du lit de semence est celui incliné par une faible pente où le semis peut être établie en toute sécurité sur la pente au-dessous de la zone d'accumulation de sel (Bernstein et al, 1955; Bernstein et Fireman, 1957 in Hamdy and Cosimo, (2005) (figure 7).



**Figure 7: Modèle d'accumulation des sels dans les sols irrigués par rigoles pour la forme inclinée du lit de semence (Bernstein et al, 1955; Bernstein et Fireman, 1957 in Hamdy and Cosimo, (2005)**

L'irrigation par submersion ou par aspersion éloigne les sels loin des plantules vers les couches inférieures. Mais l'irrigation par aspersion avec l'eau saline peut causer des brûlures marginales des feuilles et une défoliation (Hamdy and Cosimo, 2005).

Sous le système d'irrigation en rigole et en goutte à goutte le transport des sels se déroulent en plusieurs sens pour s'accumuler proche du surface, cette situation nécessite des corrections de la position des semis ou des plantations pour éviter l'accumulation des sels autour des plants peut limiter significativement ces dommages (Hamdy and Cosimo, 2005).

Il est à noter que l'irrigation goutte à goutte a l'avantage de laisser le sol toujours humide, avec une faible concentration en sel et minimiser le contact des racines avec la zone à forte concentration en sels (West et Merrigan in Ayars, 2011). Mais il faut lessiver les sels pour la prochaine culture (Hamdy and Cosimo, 2005 ; Masmoudi, 2012).

### **7.5. Fertilisation**

L'engrais peut provoquer ou aggraver le problème de salinité ou de toxicité. Un engrais avec un indice de salinité plus faible peut être envisagé. Plus l'indice de salinité d'un engrais, est élevé plus les semis et les jeunes plants sont exposés au risque de brûlure et de dommages, donc il faut choisir des engrais à indice de salinité bas (Ayers and Westcot, 1985).

### **7.6. Choix du matériel végétal**

Le choix des espèces cultivées joue un grand rôle pour pouvoir lutter contre la salinité. Une espèce cultivée doit répondre à certains critères (Grattan et Rhoades, 1990 in Grattan, 1994 ; Hamdy and Cosimo, 2005):

- avoir une haute capacité à extraire de l'eau ;
- tolérer des niveaux élevés de salinité ;
- avoir un système racinaire profond ;
- avoir la capacité de maintenir la qualité dans des conditions salines ;
- avoir un faible potentiel d'accumuler des oligo-éléments ;
- être compatible dans la rotation des cultures.

### **7.7. Travail du sol**

Le travail du sol doit se faire avec plus de soins pour améliorer sa perméabilité, briser les croûtes en surface, améliorer l'infiltration de l'eau, préparer le lit de semence, éviter de transporter une couche salée vers la surface et éviter de travailler en conditions humides pour éviter la formation de la croûte de battance. Si le sol est lourd il est nécessaire d'apporter des amendements en sable pour faciliter le lessivage des sels et rendre le sol plus perméable (Hamdy and Cosimo, 2005).

### **7.8. Amendement organique**

L'incorporation de la matière organique dans un sol alcalin irrigué avec une eau salée, a deux principaux effets bénéfiques ; l'amélioration de sa perméabilité et la libération du dioxyde de carbone et de certains acides organiques. ceci aidera à abaisser le pH du sol, en libérant le calcium par solubilisation de  $\text{CaCO}_3$ , et d'autres minéraux, augmente la capacité d'échange cationique (CEC) et remplacement du Na échangeable par Ca et Mg abaisse l'ESP (taux du sodium échangeable : quantité d'ion Na échangeable/CEC) (Hamdy and Cosimo, 2005). Même l'apport du compost au sol salé a amélioré ses propriétés physico-chimiques et biochimiques (Lakhdar *et al.*, 2009).

### **7.9. Amendement chimique**

Pour les sols sodiques l'amendement chimique vise surtout à avoir une source de  $\text{Ca}^{2+}$  en utilisant plusieurs produits, tels que les sels solubles comme les chlorures de calcium ( $\text{CaO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), le gypse naturel, le phosphogypse, ou relativement beaucoup moins soluble comme le calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ). D'autres produits peuvent être utilisés comme mobilisateurs de  $\text{Ca}^{2+}$  dans les sols calcaires sodiques, tels que l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), l'acide chlorhydrique (HCl), le soufre (S), la pyrite du fer ( $\text{FeS}_2$ ), les polysulfures de calcium ( $\text{CaS}_5$ ), sulfate de fer ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) et le sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ) (Qadir *et al.*, 2000). La structure du sol sera améliorée par déplacement des ions  $\text{Na}^+$  du complexe absorbant loin de la rhizosphère et remplacés par les ions  $\text{Ca}^{2+}$  (Ilyas, Qureshi, and Qadir 1997 ; Horneck et al. 2007), peut aussi réduire le SAR et la CE (Hafez *et al.*, 2015), et améliorer l'infiltration de l'eau dans le sol (Abrol, Yadav and Massoud, 1988).

### **7.10. Charbon en poudre**

Un essai réalisé en pots en conditions de stress salin avec des apports de charbon et de sulfate de fer a marqué les avantages suivant (Raychev *et al.*, 2001):

- diminution du niveau de sel soluble et de sa toxicité pour les plantes,
- enrichissement du sol avec une structure formant la matière organique,
- réduction du risque d'une pollution de l'environnement,
- réduction des charges de lessivage par irrigation,
- possibilité d'utilisation des déchets industriels d'une manière écologiquement correcte.

Une combinaison entre plusieurs types d'amendement des sols salins sodiques, le charbon, le compost et le sulfate ferreux semble avoir un effet bénéfique en réduisant le pH, la salinité, et la sodicité des sols (Mahdy, 2011).

### **7.11. Magnétisation des eaux d'irrigation**

Plusieurs études ont montré l'effet bénéfique de la magnétisation des eaux d'irrigation sur les sols salés et les cultures ; une augmentation de la biomasse des plantes, une amélioration du taux d'absorption des éléments nutritifs (Osman *et al.* 2014 ; Ahmed and Ebead 2013) ; une diminution du pH et la CE du sol (El-yazied *et al.*, 2012), une augmentation du phosphore assimilable dans le sol (Hilal *et al.*, 2013) ; une augmentation de la productivité de l'eau mais une augmentation de la CE du sol (Maheshwari and Grewal, 2009).

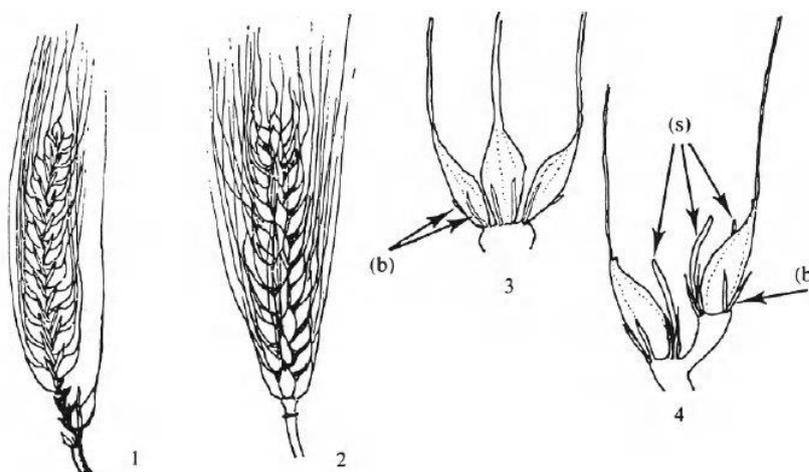
## II. Aperçu sur la culture d'orge

### 1. Classification de l'orge

L'orge cultivée *Hordeum vulgare* L. est l'une des espèces d'*Hordeum*, appartenant à la tribu Triticeae, et à la famille des Poaceae (graminées). C'est une plante annuelle, autogame, diploïde avec  $2n = 14$  chromosomes (Fuller, 2004).

Les orges se classent en deux types en fonction de la morphologie de l'épi ; l'orge à six rangs et l'orge à deux rang (Doré and Varoquaux, 2006):

- Orge à deux rangs (distique): le long du rachis (axe de l'épi) se succèdent de part et d'autre, avec une compacité variable, des 3 épillets uniflores, dont seul (central) est fertile, les latéraux étant stériles d'où l'aspect de 2 rangs de grains (figure 8),
- Orge à six rangs (tétrastique, hexastique ou escourgeon) : tous les épillets sont fertiles. Les grains latéraux sont dissymétriques et un peu plus petits. La superposition verticale des grains donnent une section soit tétragonale quand l'épi est assez lâche (comme s'il y avait 4 rangs) soit hexagonale quand l'épi est très compact qui fait apparaître 6 rangs vrais de grains (figure 8).



**Figure 8 : Schéma des types d'épis d'orge :**

**1 : épi à 2 rangs, 2 : épi à 6 rangs, 3 : épillets de l'épi à 6 rangs, (b) : glumes, 4 : épillets de l'épi à 2 rangs, (s) : épillets stériles (Reid, 1990)**

### 2. Origine de l'orge

Il y a environ 10000 ans A.J. que, les anciens agriculteurs ont commencé à domestiquer l'orge cultivée *Hordeum vulgare* L. à partir de l'espèce sauvage *Hordeum spontaneum* (Zohary, Hopf and Weiss, 2013).

L'ancêtre sauvage *H. spontaneum* colonise encore ses principaux habitats dans le Croissant fertile ; la Palestine, la Jordanie, la Syrie, le Liban, le sud de la Turquie, nord Irakien, et le sud-ouest d'Iran (Harlan and Zohary, 1966). Une deuxième domestication qui a contribué de plus à la diversité de l'orge s'étend de l'Asie centrale jusqu'à l'Extrême-Orient (Morrell and Clegg, 2007).

### 3. Valeur nutritive

Le tableau suivant montre la composition du grain d'orge (Henry, 1988)

**Tableau 5 : Composition du grain d'orge mûr**

<b>Composé</b>	<b>Poids sec (%)</b>
<b>Glucides</b>	78 – 83
-Amidon	63 – 65
-Saccharose	1 – 2
-Autres sucres	1
-Polysaccharides autres que l'amidon	9 – 11
-Cellulose	4 – 5
<b>Protéines</b>	10 – 12
-Albumines et globulines	3 – 4
-Hordéines	3 – 4
-Glutélines	3 – 4
<b>Lipides</b>	2 – 3
<b>Acides nucléiques</b>	0,2 – 0,3
<b>Minéraux</b>	2
<b>Autres</b>	5 – 6

Les glucides constituent la majeure partie du grain d'orge suivie par les protéines. On note aussi que l'orge est une source de fibres solubles, de la niacine (vitamine B3), de phosphore, de magnésium, et de fer (Wrigley *et al.*, 2004).

#### 3.1.5.2. Utilisation

Les principales utilisations de l'orge se résument en trois :

##### a) Alimentation humaine

L'orge peut être utilisée sous forme de farine qui sert à la préparation de plusieurs types de pain et d'autres préparations. Comme on peut le trouver sous forme de flocons, et d'orge perlée (Dalton, 2002).

En Algérie, 10% de la production d'orge est destinée à l'alimentation humaine. L'orge de plus en plus demandée au cours de ces dernières années, avec le retour à la fabrication des produits traditionnels d'orge (Benmahammed, 2004).

##### b) Alimentation animale

La plupart des récoltes d'orge sont utilisées pour l'alimentation du bétail. En plus de l'intérêt de la paille d'orge dans l'alimentation animale, le grain représente une source importante d'amidon et a une teneur élevée en fibres et en protéines plus que le maïs (Verstegen *et al.*, 2014). Les drêches qui sont des résidus de la distillation d'orge, peuvent être aussi utilisées pour l'alimentation animale (Fuller, 2004).

### c) Malt

Parmi les transformations de l'orge, c'est la préparation du malt qui sert à la fabrication des boissons alcooliques par fermentation qui constitue une part importante de la production d'orge (Schwarz and Li, 2011).

## 4. Production de l'orge

Selon la FAO (2022), l'orge se classe en quatrième position parmi les céréales principales après le maïs, le blé et le riz. Durant la période 2018-2020 (tableau 6), la production a passé de plus 139 millions de tonnes à plus de 157 millions de tonnes (avec une plus haute production de 178 millions de tonnes en 1991). Selon les zones, l'Europe est le plus important producteur d'orge (61.1%), suivi par l'Amérique du Nord, l'Asie, l'Océanie et l'Afrique. Par pays, les grands producteurs d'orge sont : la fédération de Russie, France, Allemagne, Ukraine et Canada. La moyenne mondiale de rendement est passée de 13qx/ha en 1961 à 29qx/ha en 2014.

**Tableau 6 : Production d'orge dans le monde (tonnes)**

Année	Production (tonnes)	Superficie (ha)	Rendement (qx/ha)
2018	139832047	47818049	29,24
2019	158462601	51018550	31,06
2020	157030764	51601372	30,43

(FAOSTAT, 2022)

En Algérie, l'orge occupe la deuxième place après le blé dur (Benmahammed, 2004). Malgré qu'en 2009 la production a dépassé les 2 millions de tonnes, l'Algérie ne satisfait pas ses besoins en ce produit. La production durant la période 2018-2020 (tableau 7) est d'environ 1.2 à 1.9 millions de tonnes avec une diminution d'une année à l'autre à cause de la sécheresse qui a caractérisé ces dernières années.

**Tableau 7 : Production d'orge en Algérie (tonnes)**

Année	Superficie (ha)	Production (tonnes)	Rendement (qx/ha)
2018	1080250	1957327	18.1
2019	1133005	1647746	14.5
2020	978114	1213137	12.4

(FAOSTAT, 2022)

La moyenne nationale des rendements d'orge reste faible et variable d'une année à une autre ; elle est de 7 à 34 qx/ha en 2019 avec une moyenne nationale à la même année de 19 qx/ha (MADR, 2021).

Les besoins nationaux en orge varient entre 15-20 millions quintaux par an, les ressources d'orge sont faibles d'où le recours aux importations (Benmahammed, 2004). Ces importations sont très variables ; 439000 tonnes en 2018 et 700000 tonnes en 2022 (Statistica, 2022)

## **5. Caractères adaptatifs de l'orge**

L'orge est une espèce qui présente plusieurs caractères adaptatifs vis-à-vis aux stress abiotiques :

### **5.1. Nombre de stomates**

Sous les conditions de stress salin les variétés d'orge qui ont marqué un nombre moyen en stomates, sans augmentation, peuvent être considérées plus tolérantes au stress salin. Ceci peut s'expliquer par une faible transpiration (moins de pertes en eau) et une photosynthèse non altérée (Gill and Dutt, 1982)

### **5.2. Système racinaire**

Un bon développement du système racinaire sous la contrainte de salinité reflète une bonne tolérance des espèces et variétés (sans autres contraintes qui peuvent s'opposer à la croissance racinaire) (Coventry *et al.*, 2008).

### **5.3. Biomasse**

La biomasse indique une bonne tolérance de la variété à la salinité (Taghipour and Salehi 2008 ; Sbei *et al.* 2014)

### **5.4. Surface foliaire**

Les plantes d'orge les plus tolérantes au stress salin, sont moins affectées par la diminution de leur surface foliaire (Kadri *et al.*, 2009).

### **5.5. Paramètres de rendement**

Certains travaux montrent que les variétés qui ont pu garder un nombre de grains/épi et un poids moyens des épis élevés sont les plus tolérantes au stress salin (Kadri *et al.*, 2009).

Cependant les variétés qui ont un poids de milles grains bas en conditions de stress salin sont les plus tolérantes (Stanca *et al.*, 2003)

### **5.6. Taux de sodium dans les tissus**

La tolérance à la salinité chez les céréales est associée à la teneur en Na<sup>+</sup> dans la partie aérienne ; les variétés tolérantes ont des systèmes plus efficaces pour exclure le sodium de leurs cellules (Stanca *et al.*, 2003).

Chapitre II:  
Effets du stress salin  
sur la culture d'orge  
(*Hordeum vulgare* L.) en pots

## Chapitre II : Effets du stress salin sur la culture d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en pots

### 1. Matériel et méthodes

L'expérimentation s'est déroulée au département des sciences agronomiques de l'université de Biskra sous serre. Notre objectif est d'étudier l'effet de l'irrigation par trois niveaux d'eaux salées sur la culture de 16 variétés d'orge en pots jusqu'au stade épiaison.

#### 1.1. Substrat

Le substrat utilisé est un mélange constitué de deux volumes (2/3) de terre et un volume (1/3) de sable. Ce substrat est de type limono-argileux, d'un pH légèrement alcalin, modérément calcaire (Baize, 2000), mais très pauvre en matière organique (tableau 8).

**Tableau 8 : Caractéristiques du substrat utilisé**

Granulométrie (%)	Conductivité (dS/m)	pH	Calcaire total (%)	Matière organique (%)	Solution du sol (meq/l)
Argile : 17,46	1,50	7,60	26,45	0,62	Potassium: 1,48
Limon fin : 24,44					Calcium: 3,70
Limon grossier : 14,40					Sodium: 4,36
Sable fin : 38,22					Mg <sup>++</sup> : 5.30
Sable grossier : 05,48					Chlore : 4,22
					HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : 1.2
					SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> : 4.8

#### 1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de 16 variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) ; une variété population locale ; Oued-righ et quinze variétés : Acsad<sub>176</sub>, Alanda, Bahia, Barberousse, Fouara, Jaidor, Lagune, Plaisant, Rahma, Rihane<sub>03</sub>, Saïda<sub>183</sub>, Soufara, Tichedrett, Tissa et Tina (tableau 9).

**Tableau 9 : Géotypes d'orge étudiés**

Géotype	Origine	Type
Acsad <sub>176</sub>	Acsad-sél- ITGC Sidi Bel Abbés	6 rangs
Alanda	ICARDA	6 rangs
Bahia	ICARDA-sél-ITGC Sétif	6 rangs
Barberousse	France	6 rangs
Fouara	ICARDA-sél-ITGC Sétif	6 rangs
Jaidor	INRA Montpellier- sél- ITGC Constantine	6 rangs
Lagune	France	6 rangs
Oued-righ	Algérie	6 rangs
Plaisant	France	6 rangs
Rahma	ICARDA-sél-ITGC Sétif	2 rangs
Rihane <sub>03</sub>	Acsad-sél- ITGC Sidi Bel Abbés	6 rangs
Saïda <sub>183</sub>	Algérie	6 rangs
Soufara	ICARDA-sél-ITGC Sétif	2 rangs
Tichedrett	Algérie	6 rangs
Tina	Espagne	6 rangs
Tissa	Maroc	2 rangs

### 1.3. Pots

Les pots utilisés, sont des pots en plastique de couleur marron perforés à leur base. La hauteur des pots est de 23.7cm, la partie supérieure est d'un diamètre de 26.3cm, alors que la partie inférieure est de 17cm de diamètre. Le nombre total des pots pour cette expérimentation est de 144 pots (figure 9).

**Figure 9 : Dimensions du pot utilisé**

### 1.4. Eaux d'irrigation

Selon le tableau 10, l'eau d'irrigation est constituée de trois eaux salées à base de NaCl (T1 : 80mM, T2 : 130mM et T3 : 180mM).

**Tableau 10: Caractéristiques des eaux d'irrigations**

Traitements	mM de NaCl
<b>T1</b>	80
<b>T2</b>	130
<b>T3</b>	180

## 1.5. Méthodes

### 1.5.1. Lieu de l'expérimentation

L'expérimentation s'est déroulée sous serre en plastique au département des sciences agronomiques de l'université de Biskra.

### 1.5.2. Remplissage des pots

En premier lieu les pots sont tapissés d'une couche de graviers afin d'assurer un bon drainage. Chaque pot est rempli de 8 kg du substrat préparé.

### 1.5.3. Dispositif expérimental

L'expérimentation est menée selon un dispositif en split-plot (3 blocs) avec 16 variétés d'orge et 3 niveaux de stress salin (T1, T2 et T3). Chaque bloc est constitué de 16 variétés, de 3 traitements (T1: 80mM, T2: 130mM, T3 :180mM), avec 3 répétitions pour chaque traitement (48 pots par bloc). Au total on a 144 pots (figures 10 et 11).



**Figure 10: Bloc expérimental de pots cultivés de 16 variétés d'orge**

Bloc1	Fou T1	Saï T1	Tich T1	O-R T1	Bah T1	Acs T1	Rah T1	Rih T1	Sou T1	Tin T1	Bar T1	Jai T1	Lag T1	Pla T1	Tis T1	Ala T1
	Ala T2	Tis T2	Pla T2	Lag T2	Jai T2	Bar T2	Tin T2	Sou T2	Rih T2	Rah T2	Acs T2	Bah T2	O-R T2	Tich T2	Saï T2	Fou T2
	Sou T3	Tin T3	Bar T3	Jai T3	Lag T3	Pla T3	Tis T3	Ala T3	Fou T3	Saï T3	Tich T3	O-R T3	Bah T3	Acs T3	Rah T3	Rih T3
Bloc2	Pla T2	Tis T2	Ala T2	Bar T2	Jai T2	Lag T2	Rih T2	Sou T2	Tin T2	Bah T2	Acs T2	Rah T2	O-R T2	Tich T2	Saï T2	Fou T2
	Lag T3	Jai T3	Bar T3	Tin T3	Sou T3	Saï T3	Fou T3	Ala T3	Tis T3	Pla T3	Rih T3	Rah T3	Acs T3	Bah T3	O-R T3	Tich T3
	O-R T1	Tich T1	Saï T1	Fou T1	Rih T1	Rah T1	Acs T1	Bah T1	Jai T1	Bar T1	Tin T1	Sou T1	Ala T1	Tis T1	Pla T1	Lag T1
Bloc3	Ala T3	Fou T3	Saï T3	Sou T3	Tin T3	Bar T3	Jai T3	Lag T3	Tich T3	O-R T3	Bah T3	Acs T3	Rah T3	Rih T3	Pla T3	Tis T3
	Rih T2	Lag T2	Jai T2	Bar T2	Ala T2	Tis T2	Pla T2	Tich T2	O-R T2	Rah T2	Acs T2	Bah T2	Tin T2	Sou T2	Fou T2	Saï T2
	Tich T1	O-R T1	Fou T1	Saï T1	Rah T1	Rih T1	Bah T1	Acs T1	Bar T1	Jai T1	Sou T1	Tin T1	Tis T1	Ala T1	Lag T1	Pla T1

Variétés : Fou : Fouara, Saï : Saïda<sub>183</sub>, Tich : Tichedrett, O-R : Oued-Righ, Bah : Bahia, Acs : Acsad176 Rah : Rahma Rih : Rihane03  
 Sou : Soufara, Tin : Tina, Bar : Barberousse, Jai : Jaidor, Lag : Lagune, Pla : Plaisant, Tis : Tissa Ala : Alanda

Dose de sel d'eau d'irrigation : T1: 80mM de NaCl, T2: 130mM, T3 :180mM

**Figure 11 : Schéma du dispositif expérimental**

#### 1.5.4. Semis

Le semis est réalisé le 09/11/2016, à raison de 10 grains par pot à une profondeur de 2 cm.

#### 1.5.5. Irrigation

La dose d'irrigation est déterminée selon la capacité de rétention du sol. La quantité trouvée est de 1.2litres/pot. On ajoute à cette dose d'irrigation une fraction de lessivage calculée par la formule suivante :

$$FL (\%) = ECw / (5 E_{Ce} - ECw)$$

Où : ECw est la conductivité électrique de l'eau d'irrigation (en dS/m à 25°C), E<sub>Ce</sub> est la conductivité électrique de l'extrait saturé du sol (en dS/m à 25°C). Pour l'orge E<sub>Ce</sub> est égale à 10dS/m à 90% de rendement c'est-à-dire une diminution de rendement de 10 %. (Ayers and Westcot, 1985). T1 : ECw1 = 7.30 dS/m ; T2 : ECw2 = 11.88 dS/m ; T3 : ECw3 = 16.45dS/m.

$$FL (T1) = ECw1 / (5 E_{Ce} - ECw1) = 17\%$$

$$FL (T2) = ECw2 / (5 E_{Ce} - ECw2) = 31\%$$

$$FL (T3) = ECw3 / (5 E_{Ce} - ECw3) = 49\%$$

La fréquence d'irrigation est en fonction de l'état du sol (humidité).

### **1.5.6. Fertilisation**

Apport de 1.5g/pot de TSP et 1g/pot de sulfate de potassium avant le semis. Alors pour l'apport d'azote est fractionné en 2 apports (1g/pot par apport) ; le premier au début de tallage et le deuxième au stade épi 1cm.

### **1.5.7. Désherbage**

Le désherbage manuel est réalisé chaque fois que les mauvaises herbes poussent.

### **1.5.8. Paramètres étudiés**

#### ***1.5.8.1 Caractères Phénologiques (principaux stades)***

- **Stade levée** : La date du stade levée correspond à plus de 50 % des plantes qui émergent de terre.
- **Stade deux feuilles** : La date du stade deux feuilles correspond à la date où plus de 50% des plantes ont deux feuilles.
- **Stade trois feuilles** : La date du stade trois feuilles correspond à la date où plus de 50% des plantes ont trois feuilles.
- **Stade tallage** : La date du stade tallage correspond à la date où la moitié des plantes laissent apparaître la première talle.
- **Stade épiaison** : La date du stade épiaison correspond à la date où plus de la moitié des tiges ont leur épi hors gaine.

#### ***1.5.8.2. Caractères morphologiques***

##### ***1.5.8.2.1. Nombre de talles herbacées***

Le nombre de talles est déterminé par comptage des talles de trois plantes de chaque pot et pour chaque traitement.

##### ***1.5.8.2.2. Nombre de talles épis***

Le nombre de talles épis est déterminé par comptage des talles de trois plantes de chaque pot et pour chaque traitement.

### **1.5.8.2.3. Nombre de plantes mortes à l'épiaison**

A l'épiaison nous comptons le nombre de plantes échouées dans chaque pot pour tous les traitements.

### **1.5.8.2.4. Hauteur des plantes à l'épiaison**

Elle est mesurée à la base des tiges jusqu'au sommet des plantes sans épis.

### **1.5.8.2.5. Longueur des racines au stade épiaison**

Elle est déterminée à partir du collet jusqu' à l'extrémité la plus longue des racines.

### **1.5.8.2.6. Surface foliaire**

La surface foliaire est déterminée en prenant trois feuilles au hasard de chaque pot. Les mesures ont été réalisées par la méthode (Paul, Planchton and Ecochard, 1979) qui consiste à :

- Placer la feuille sur du papier.
- Découper les contours de la feuille.
- Peser la partie représentant la feuille (Pf).
- Déterminer par pesée le poids (Pp) correspondant à une surface Sp connue d'un carré du même papier.
- Déduire la surface de la feuille SF par la formule :

$$SF = (Pf \times Sp) / Pp$$

### **1.5.8.2.7. Biomasse aérienne et racinaire**

#### **➤ Poids de la matière fraîche**

Le poids de la matière fraîche est déterminé après la récolte avec séparation des deux parties de la plante (souterraine et aérienne) de chaque variété et pour chaque traitement.

#### **➤ Poids de la matière sèche**

Le poids de la matière sèche a été déterminé après séchage des plantes récoltées (partie aérienne et partie souterraine) à l'étuve à 80°C pendant 48 h.

### **1.5.8.3. Caractères chimiques**

#### **1.5.8.3.1. Dosage de Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> dans la plante (partie aérienne et partie racinaire)**

L'analyse minérale, c'est un moyen d'évaluation de l'état nutritionnel des plantes. Nous avons dosé le sodium et le potassium des deux parties ; aérienne et racinaire au stade épiaison.

1 g de la matière végétale, séchée préalablement à 80°C est placée dans un creuset en porcelaine, calciné à 550 °C dans un four à moufle pendant 5h jusqu'à l'obtention d'une cendre blanche. Après une attaque acide l'extrait sert au dosage de Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> par photomètre à flamme.

#### **1.5.8.3.2 Dosage de Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> (Partie aérienne et racinaire)**

Le calcium (Ca<sup>++</sup>) et le magnésium (Mg<sup>++</sup>) sont dosés par complexométrie des deux parties aérienne et racinaire au stade épiaison.

#### **1.5.8.4. Caractères biochimiques et physiologiques**

##### **1.5.8.4.1. Dosage de chlorophylle**

La chlorophylle est extraite selon la procédure décrite par Ferus and Arkosiova (2001), qui consiste en une macération du végétal dans l'acétone. On pèse 0.5g de limbe foliaire qui est découpé en petits morceaux puis broyé dans un mortier avec 25 ml d'acétone à 80%. Après broyage total, la solution est filtrée et mis dans des boîtes noires pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière. Une quantité de la solution est mis dans la cuve du spectrophotomètre, et la lecture se fait aux longueurs d'ondes ou densités optiques (DO) 645 et 663 nm, après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin de l'acétone à 80%. Les valeurs de la chlorophylle sont déduites selon les formules attribuées à Arnon (1949):

$$\text{Chla (mg l-1)} = 12.7 \text{ DO}_{663} - 2.69\text{DO}_{645}$$

$$\text{Chlb (mg l-1)} = 22.9 \text{ DO}_{645} - 4.68\text{DO}_{663}$$

$$\text{Chl}_{\text{total}} \text{ (mg l-1)} = 8.02 \text{ DO}_{663} + 20.20 \text{ DO}_{645}$$

##### **1.5.8.4.2. Dosage de la proline de la partie aérienne (les feuilles)**

La proline a été dosée par la méthode de Troll and Lindsley (1955). 100mg des feuilles fraîches coupées en petits morceau, ont été introduites dans un tube à essai, puis 2 ml de méthanol à 40%, sont ajoutés et l'ensemble passe au chauffage au bain marie à 85°C pendant 60 mn. Les tubes sont fermés pour éviter la volatilisation de l'alcool. Après refroidissement, on prend 1ml d'extrait auquel est ajouté 2 ml d'acide acétique, 1 ml d'un mélange contenant : 120ml d'eau distillée, 300ml d'acide acétique, 80 ml d'acide ortho-phosphorique et 25 mg de la ninhydrine.

La solution est portée à ébullition pendant 30 mn, elle vire progressivement au rouge, après refroidissement, on ajoute 5 ml de toluène à la solution, après agitation 2 phases se forment : une supérieure qui contient la proline est récupérée et déshydratée par l'adjonction de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhydre, Enfin la densité optique est déterminée par un spectrophotomètre à la longueur d'onde 528nm. Après l'étalonnage de l'appareil avec le mélange constitue (acide acétique, ninhydrine, acide orthophosphorique et l'eau distillée). La proline est exprimée en µmol/g de matière sèche.

#### **1.5.8.4.3. Dosage des sucres solubles totaux**

La teneur en sucres solubles totaux a été déterminée selon la méthode de Dubois et al. (1956). L'extraction se fait par le mélange de 100 mg de matière végétale et de 2 ml d'éthanol 80%, l'ensemble est mis sous obscurité pendant 48h. Les tubes à essai sont placés ensuite dans un bain-marie à 80° jusqu'à évaporation totale de l'alcool. Après refroidissement, le volume de chaque tube à essai est complété à 20 ml, 1 ml de cette solution est prélevé et mélangé avec 1 ml de phénol 5%. L'ajout de 5 ml d'acide sulfurique concentré permet l'apparition d'une solution jaune orangé à la surface. Les tubes sont agités, laissés incuber pendant 10 min puis placés au bain-marie à 30°C pendant 20 min. La lecture de l'absorbance se fait à l'aide d'un spectrophotomètre à une densité optique de 490 nm.

#### **1.5.8.4.4. Teneur relative en eau (TRE ou WRC : Water Relative Content)**

La teneur relative en eau des feuilles nous informe sur l'état hydrique des tissus, c'est l'une d'indicateurs du stress. Cette teneur est liée à la capacité de la plante à maintenir un niveau d'hydratation optimal pour assurer l'activité métabolique.

Les feuilles récoltées des plantes pour chaque traitement sont coupées à la base du limbe est pesée immédiatement, ce qui représente le poids frais (Pfi), ces feuilles sont placées dans l'eau distillée à l'obscurité et à une température de 4°C pendant 6 heures. Les feuilles sont ensuite essuyées à l'aide d'un papier filtre pour éliminer le reste de l'eau de surface et pesées de nouveau pour obtenir le poids en plein de turgescence (Ppt). Enfin, elles sont placées à l'étuve à 80°C pendant 24 heures pour être pesées pour avoir le poids sec (Ps).

La teneur relative en eau est déterminée par la formule suivante (Clarke and McCaig, 1982) :

$$TRE (\%) = \left[ \frac{Pfi - Ps}{Ppt - Ps} \right] \times 100$$

#### **1.5.8.4.5. Taux de déperdition d'eau (TDE ou RWL : Rate Water Loss)**

Il est basé sur la détermination du taux de déperdition d'eau des feuilles excisées pour chaque traitement. Après la pesée du poids frais initial (Pfi), les feuilles sont exposées à l'air libre puis pesés après deux heures (Pf<sub>2h</sub>). Enfin, le poids sec est déterminé après passage à l'étuve des feuilles durant 2 heures à 50°C. Le TDE est calculé par la formule (Clarke *et al.*, 1989):

$$TDE \text{ ou } RWL \text{ (g/gMS/min)} = [(Pfi - Pf_{2h}) / Ps] / 120mn$$

Avec Pfi : poids frais initial (g).

Pf<sub>2h</sub> : poids frais après 2 heures (g).

Ps : poids sec (g),

MS : matière sèche

#### **1.5.8.4.6. Perméabilité membranaire (membrane permeability or Electrolyte leakage)**

Fuite d'électrolyte reflète les dommages qui touchent les membranes cellulaires. La quantité de fuite d'électrolyte est fonction de la perméabilité membranaire. Une augmentation des fuites d'électrolyte indique une augmentation de la perméabilité membranaire et réduit la tolérance des cellules aux changements du milieu.

La perméabilité membranaire est déterminée par la méthode de Lutts, Kinet, and Bouharmont (1996) modifiée :

Trois feuilles ont été prélevées de chaque traitement puis coupées en segments de 1 cm. Les échantillons ont été lavés avec l'eau distillée (pour éliminer les électrolytes adhérant à la surface) et desséchés à l'aide d'un papier filtre. Les segments de feuilles ont été placés dans flacons fermés contenant 10 ml d'eau distillée et placés dans un agitateur (100 tr/min) pendant 5min. La première mesure de la conductivité électrique de la solution a été déterminée après 4 heures (C1) et la deuxième mesure est déterminée après 24 h (C2). La perméabilité membranaire a été calculée par la formule suivante :  $PM (\%) = (C1/C2) \times 100$ .

#### **1.5.9. Analyse statistique des données**

Les données ont subi une analyse statistique par l'analyse de la variance (Anova) et la comparaison de moyennes par la méthode de Student – Newman – Keuls à l'aide du logiciel XLSTAT au seuil de signification de 95%.

La classification des variétés est réalisée en attribuant des points aux variétés pour chaque paramètre selon les groupes homogènes. En commençant par le dernier groupe qui aura un point le groupe précédent deux points et ainsi de suite jusqu'au premier groupe qui aura le maximum de points. A la fin la somme des points est obtenue pour chaque variété pour tous les paramètres choisis. La variété qui a obtenu le maximum de points c'est la variété la plus tolérante au stress salin.

## 2. Résultats et discussion

### 2.1. Stades phénologiques

#### 2.1.1. Levée

La levée a eu lieu après 5 à 8 jours (tableau 11). La variété qui a mis moins de temps pour arriver à la levée est la variété Tissa suivie par la variété Plaisant. Alors que les autres variétés ont mis un temps entre 7 et 8 jours pour arriver à la levée.

En plus de l'effet du matériel génétique, la température du sol peut influencer sur le temps d'émergence chez l'orge, où cette espèce nécessite 92 - 159 degrés-jours au-dessus d'un minimum de 6,1 - 3,5 °C pour avoir 70% de levée (Russelle and Bolton, 1980).

**Tableau 11 : Temps de levée après le semis (jours)**

Variété	Rah	Rih	Tin	Souf	Acsa	Bar	Jai	Lag	Pla	Tis	Fou	Sai	Tich	O-Ri	Bah	Ala
T1	8,00	8,00	8,0 0	7,0 0	8,0 0	7,0 0	7,0 0	7,0 0	6,0 0	5,0 0	6,0 0	7,0 0	7,0 0	7,0 0	7,0 0	7,0 0
T2	8,00	8,00	8,0 0	7,0 0	8,0 0	7,0 0	7,0 0	7,0 0	6,0 0	5,0 0	6,0 0	7,0 0	7,0 0	7,0 0	7,0 0	7,0 0
T3	8,00	8,00	8,0 0	7,0 0	8,0 0	7,0 0	7,0 0	7,0 0	6,0 0	5,0 0	6,0 0	7,0 0	7,0 0	7,0 0	7,0 0	7,0 0

Variétés : Fou : Fouara, Sai : Saïda<sub>183</sub>, Tich : Tichedrett, O-R : Oued-Righ, Bah : Bahia, Acs : Acsad176 Rah : Rahma Rih : Rihane03 Sou : Soufara, Tin : Tina, Bar : Barberousse, Jai : Jaidor, Lag : Lagune, Pla : Plaisant, Tis : Tissa Ala : Alanda

#### 2.1.2. Stade 3 feuilles

Le stade 3 feuilles est achevé entre 23 et 32 jours dès le semis. L'analyse de la variance montre l'existence d'une différence très hautement significative (THS) pour la variété et la dose de NaCl mais pas significative pour la variété x Stress salin (tableau 12).

**Tableau 12 : Analyse de la variance du stade 3 feuilles**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	839,937	55,996	79,053	< 0,0001	THS
Stress salin	2	61,347	30,674	43,304	< 0,0001	THS
Variété*Stress salin	30	10,875	0,362	0,512	0,981	NS

THS : très hautement significatif, NS : non significatif

Le classement des variétés en groupes homogènes (tableau 13), montre que la variété tissa est classée en première position avec une moyenne de 23.56 jours suivie par les variétés Rihane03 et Jaidor (26.11 jours). En dernière position c'est la variété Alanda avec 32.78 jours. On remarque que le comportement variétal des différentes variétés est nettement spécifique pour chaque variété. Dakhli, Lamouri, & Mallek-Maalej, (2014), ont trouvé que l'orge irriguée avec une eau salée présente un retard de développement aux différents stades phénologiques.

**Tableau 13 : Groupes homogènes des variétés au stade 3 feuilles**

Variété	Moyenne estimée	Groupes
Tissa	23,56	A
Rihane03	26,11	B
Jaidor	26,11	B
Acsad176	27,33	B C
Lagune	28,44	C D
Tina	29,00	D E
Plaisant	29,44	D E F
Tichedrett	29,44	D E F
Rahma	30,11	E F G
Barberousse	30,11	E F G
Soufara	30,44	F G H
Fouara	30,67	F G H
Saïda <sub>183</sub>	31,22	G H I
Oued-righ	31,56	H I J
Bahia	32,44	I J
Alanda	32,78	J

### 2.1.3. Tallage

La première caractéristique de cette période est le développement et la croissance de tiges latérales (talles). L'analyse de la variance montre qu'il existe une différence hautement significative pour la variété et la dose de salinité mais pas de signification pour l'interaction variété x stress salin (tableau 14).

**Tableau 14 : Analyse de la variance du stade tallage**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
<b>Variété</b>	15	1104,111	73,607	93,801	< 0,0001	<b>THS</b>
<b>Stress salin</b>	2	610,097	305,049	388,735	< 0,0001	<b>THS</b>
<b>Variété*Stress salin</b>	30	29,014	0,967	1,232	0,221	<b>NS</b>

THS : très hautement significatif, NS : non significatif

Les variétés sont classées en plusieurs groupes homogènes (tableau 15), où la variété Acsad176 a marqué moins de temps pour arriver au stade tallage (44 jours) suivie par les variétés Plaisant, Tissa, Oued-Righ, Rihane03, Soufara, Saida et Rahma. En dernière position c'est la variété Barberousse (53.89 jours).

**Tableau 15 : Groupes homogènes des variétés au stade tallage**

Variété	Moyenne estimée	Groupes
Acsad176	44,222	A
Plaisant	44,556	A B
Tissa	45,111	A B
Oued-righ	45,667	A B C
Rihane	45,778	B C
Soufara	45,778	B C
Saïda183	45,889	B C
Rahma	45,889	B C
Fouara	46,000	B C
Alanda	46,889	C D
Bahia	47,000	C D
Tichedrett	47,556	D
Tina	49,778	E
Jaidor	50,667	E F
Lagune	51,667	F
Barberousse	54,444	G

L'analyse de la variance montre aussi une différence hautement significative entre les différentes doses de salinité où T1 en première position avec 45.33 jours suivie par T2 (46.44 jours). Alors T3 constitue un autre groupe avec 50.15 jours. A ce stade on remarque que même la dose T2 a marqué une différence avec le T1 d'environ 1 jour, mais la différence entre le T1 et la dose T3 s'est élargie d'environ 5 jours c'est-à-dire que le stress salin a retardé le tallage. Ces résultats coïncident avec ceux obtenus par Maas & Poss (1989) et Dakhli, Lamouri, & Mallek-Maalej (2014).

#### 2.1.4. Montaison

L'analyse de la variance montre qu'il existe une différence hautement significative pour la variété et la dose de salinité mais pas de signification pour l'interaction variété x Stress salin (tableau 16).

**Tableau 16 : Analyse de la variance du stade montaison**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	4451,528	296,769	296,769	< 0,0001	THS
Stress salin	2	430,847	215,424	215,424	< 0,0001	THS
Variété*Stress salin	30	20,931	0,698	0,698	0,869	NS

THS : très hautement significatif, NS : non significatif

Le classement des groupes homogènes montre que la variété Oued-righ est classée en première position avec une moyenne de 95.44 jours suivie par les variétés Bahia, Rihane03, Alanda, Acsad176 et Tissa. Alors que les variétés Lagune et Barberousse occupent la dernière position avec environ 112 et 113 jours respectivement (tableau 17).

**Tableau 17 : Groupes homogènes des variétés au stade montaison**

Variété	Moyenne estimée	Groupes
Oued-righ	95,44	A
Bahia	97,00	A B
Rihane03	97,56	B C
Alanda	97,56	B C
Acsad176	98,78	C D
Tissa	99,56	D
Plaisant	100,22	D E
Soufara	101,22	E
Saïda183	103,33	F
Fouara	105,22	G
Jaidor	106,00	G H
Rahma	106,89	H
Tina	109,22	I
Tichedrett	109,44	I
Lagune	112,33	J
Barberousse	113,33	J

La dose T1 représente le nombre de jours le plus bas du semis à la montaison avec 101.60 jours alors que les traitements de stress salin ont retardé cette phase d'un jour pour T2 et 4 jours pour T3.

### 2.1.5. Epiaison

L'analyse de variance a montré un effet hautement significatif sur la durée de la phase semis-épiaison des différentes variétés étudiées, et au niveau du stress salin mais non significatif pour l'interaction variété x Stress salin (tableau 18).

**Tableau 18 : Analyse de la variance du stade épiaison**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	5074,271	338,285	502,196	< 0,0001	THS
Stress salin	2	560,097	280,049	415,742	< 0,0001	THS
Variété*Stress salin	30	26,792	0,893	1,326	0,153	NS

THS : très hautement significatif, NS : non significatif

Le classement en groupes homogènes montre que les variétés Barberousse, Tina et Lagune présentent une phase semis-épiaison la plus longue. Cependant la variété Oued-righ représente la durée la plus courte suivie par Alanda, Acsad176, puis Soufara, Rihane03 et Bahia (tableau 19).

**Tableau 19 : Groupes homogènes des variétés au stade épisaison**

Variété	Moyenne estimée	Groupes
Oued-righ	114,67	A
Alanda	117,89	B
Acsad176	117,89	B
Soufara	119,89	C
Rihane03	120,44	C
Bahia	120,67	C
Plaisant	123,00	D
Fouara	124,33	D E
Rahma	125,22	E
Jaidor	127,00	F
Saïda183	127,78	F
Tissa	127,78	F
Tichedrett	130,56	G
Lagune	132,67	H
Tina	133,89	H I
Barberousse	134,89	I

Pour le stress salin T1 est en première position avec 123 jours suivi par T2 avec 124.10 jours c'est-à-dire une différence d'un jour. Cependant le traitement T3 se classe en dernière position avec 127.63 jours ce qui représente une différence d'environ 4.63 jours.

Une étude sur le riz a montré que le stress salin peut retarder l'épisaison (Grattan *et al.*, 2002)

## 2.2. Caractères morphologiques

### 2.2.1. Nombre de talles herbacées

Le nombre de talle par plante est l'un des paramètres qui conditionne le rendement. L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative entre les différents génotypes et entre les différents traitements de stress salin (tableau 20).

Nous avons enregistré une diminution nette du nombre de talles, cette diminution est relativement proportionnelle à l'augmentation du niveau de stress salin. Effectivement, le stress salin implique une limitation de l'émission de talles dont la conséquence principale est la réduction de la biomasse végétale.

**Tableau 20 : Analyse de la variance du nombre de talles herbacées**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	19,972	1,331	2,458	<b>0,004</b>	<b>HS</b>
Stress salin	2	57,347	28,674	52,936	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>THS</b>
Variété*Stress salin	30	7,986	0,266	0,491	0,986	<b>NS</b>

HT : hautement significative, THS : très hautement significatif, NS : non significatif

En effet, le test de Newman et Keuls au seuil 5% classe les variétés d'orge en plusieurs groupes homogènes (tableau 21). La variété Fouara a marqué un nombre de talles herbacées le plus élevé (5 talles) suivie par Saïda183, Oued-righ et Soufara avec 4.67, 4.67 et 4.44 talles respectivement. En dernière position se classent les variétés Acsad176 et Tina.

**Tableau 21 : Groupes homogènes des variétés pour le nombre de talles herbacées**

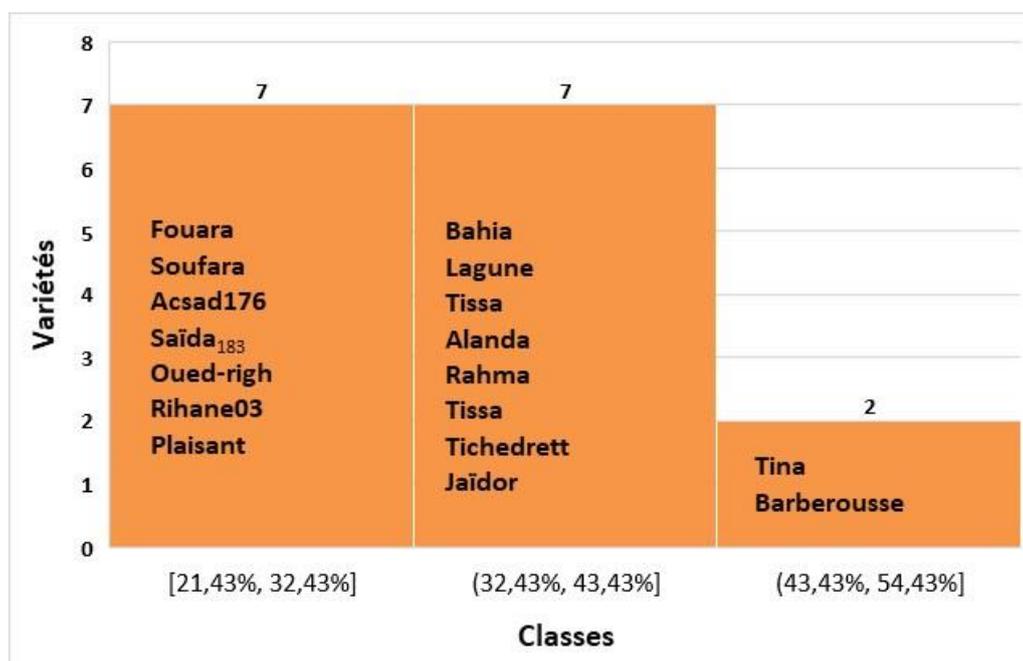
Variété	Moyennes estimées	Groupes
Fouara	4,33	A
Saïda183	4,22	A B
Oued-righ	4,22	A B
Soufara	4,22	A B
Plaisant	4,00	A B C
Tissa	4,00	A B C
Rihane03	3,89	A B C
Tichedrett	3,89	A B C
Alanda	3,89	A B C
Lagune	3,89	A B C
Jaidor	3,78	A B C
Rahma	3,56	A B C
Barberousse	3,56	A B C
Bahia	3,56	A B C
Acsad176	3,11	B C
Tina	3,00	C

La diminution du nombre de talles par le stress salin, confirme les résultats obtenus par Ould Ahmed, Inoue, and Moritani (2010) ; Rana Munns and Rawson (1999) et Ayed et al. (2016). Ces deux derniers auteurs ajoutent, que cette diminution est la conséquence de la diminution de la croissance. Les stress peuvent aussi retarder la production de talles ou la supprimer complètement (Klepper, Rickman and Peterson, 1982).

Si on classe les variétés selon le taux de réduction des talles herbacées entre T1 et T3, nous obtiendrons 3 classes. La première classe avec un faible taux de réduction regroupe les variétés Fouara, Soufara, Acsad176, Saïda183, Oued-righ, Rihane03 et Plaisant ; la deuxième classe regroupe Bahia, Lagune, Tissa, Alanda, Rahma, Tissa, Tichedrett et Jaïdor et enfin la troisième classe avec un taux de réduction le plus élevé qui regroupe Tina et Barberousse (figure 12).

Certaines études notent des taux de réduction du nombre de talles jusqu'à 74,68% ce qui constitue une grande perte en biomasse (Zerroumda, 2012). Cette perte de biomasse est le résultat de l'effet négatif du sodium et du chlore sur la division cellulaire dans le méristème apical qui affectent la formation des bourgeons chez le tournesol (Majd and Shhbazi, 1996). Cependant, d'autres auteurs

(Grieve, Francois and Poss, 2001), mentionnent que le changement du niveau de la salinité n'inhibe pas l'initiation des bourgeons des talles, mais affecte le moment de l'émergence des talles.



**Figure 12 : Classement des variétés selon le taux de diminution du nombre de talles herbacées**

### 2.2.2. Nombre de talles épis

Le tableau 22 montre qu'il existe une différence hautement significative pour les variétés et pour le stress salin.

**Tableau 22 : Analyse de la variance du nombre de talles épis**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	20,660	1,377	4,508	< 0,0001	THS
Stress salin	2	94,097	47,049	153,977	< 0,0001	THS
Variété*Stress salin	30	7,236	0,241	0,789	0,766	NS

THS : très hautement significatif, NS : non significatif

Le test de Newman et Keuls au seuil 5% classe les variétés d'orge en plusieurs groupes homogènes (tableau 23). La variété Soufara a enregistré le nombre de talles épis le plus élevé (3.44), suivies par Oued-righ, Plaisant, puis Bahia, Saïda<sub>183</sub>, Tissa, Fouara, Rihane03 et Acsad176. Par suite se classent Rahma, Tina, Tichedrett et Alanda. Enfin se trouvent les variétés Jaïdor (2.22 épis) ; Barberousse et Lagune avec 2.11 talles épis.

**Tableau 23 : Groupes homogènes des variétés pour le nombre de talles épis**

Variété	Moyennes estimées	Groupes			
Soufara	3,44	A			
Oued-righ	3,11	A	B		
Plaisant	3,11	A	B		
Bahia	3,00	A	B	C	
Saïda183	3,00	A	B	C	
Tissa	3,00	A	B	C	
Fouara	2,89	A	B	C	D
Rihane03	2,78	A	B	C	D
Acsad176	2,67	A	B	C	D
Rahma	2,56		B	C	D
Tina	2,56		B	C	D
Tichedrett	2,44		B	C	D
Alanda	2,44		B	C	D
Jaidor	2,22			C	D
Lagune	2,11				D
Barberousse	2,11				D

Le classement des traitements de stress salin montre que le stress salin a diminué le nombre de talles épis. Ces résultats confirment ceux obtenus par d'autres études (Maas et al. 1994 ; Bchini et al. 2009 ; ; Omar et al. 2009).

En classant les variétés selon le taux de réduction des talles épis (entre T1 et T3), les variétés seront classées en trois groupes (figure 13). La première classe regroupe 13 variétés avec un taux de réduction entre 50.00 et 57.10%, la deuxième classe regroupe deux variétés (Tichedrett et Tina) et enfin la dernière classe avec le taux le plus élevé 64.00 à 71.00% qui regroupe une seule variété qui est Bahia (figure 5). Donc la plupart des variétés marquent une diminution de 50% de talles épis par l'effet du stress salin.

Certaines études montrent que certains génotypes d'orge n'arrivent pas à produire des épis sous contrainte saline (Rajeswari *et al.*, 2019). Mais chez d'autres génotypes le taux de réduction des épis ne dépasse pas 21% (Azadikhah *et al.*, 2019) ; et 42% chez d'autres génotypes (Ben-Khaled *et al.*, 2012). Ces derniers auteurs précisent que le nombre d'épis est l'un des paramètres importants pour le rendement en grains. Cependant Sorkhi (2020), a noté que la diminution du rendement a été attribuée principalement à la réduction du poids des grains plutôt qu'au nombre d'épis.

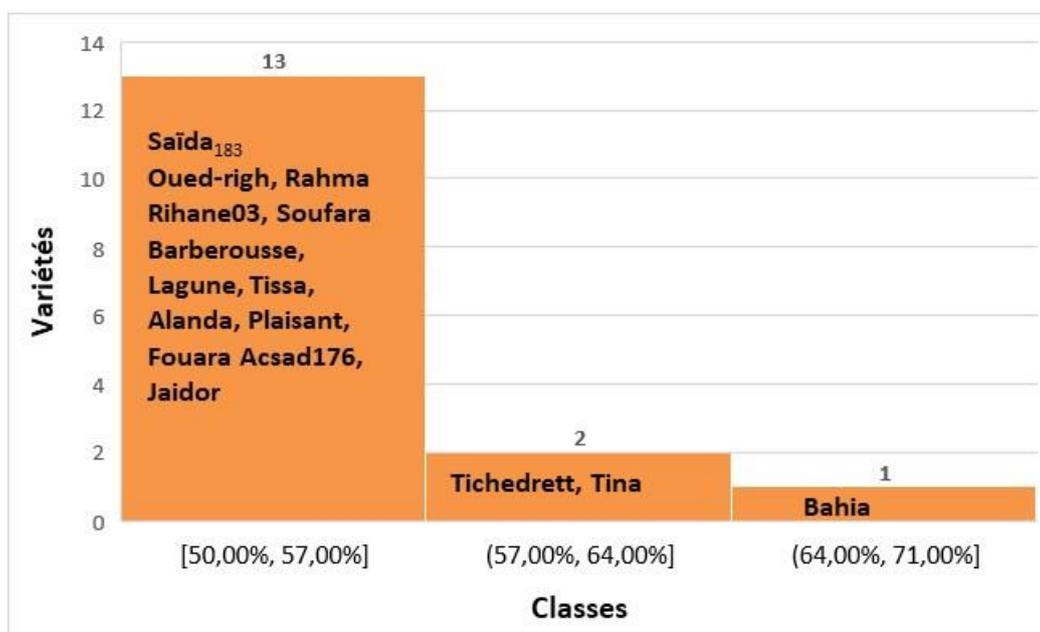


Figure 13 : Classement des variétés selon le taux de diminution du nombre de talles épis

### 2.2.3. Nombre de plantes mortes à l'épiaison

A l'épiaison certaines plantes se flétrissent et se dessèchent. L'analyse de la variance n'a pas montré une différence significative pour le facteur variété mais hautement significative pour le stress salin (tableau 26).

Tableau 24 : Analyse de la variance du nombre de plantes mortes

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	11,938	0,796	1,169	0,309	NS
Stress salin	2	119,042	59,521	87,459	< 0,0001	THS
Variété*Stress salin	30	11,625	0,388	0,569	0,960	NS

THS : très hautement significatif, NS : non significatif

Le classement des groupes homogènes pour la dose de salinité fait sortir 3 groupes homogènes ; où l'augmentation de la dose de stress salin augmente le nombre de plantes mortes.

Ce résultat est en accord avec d'autres études ; une sur le blé où la moitié des plantes sont mortes à 250mM de NaCl (Laaziza, Ouarraqi and Zid, 2007) ; une autre sur la luzerne où le taux de mortalité chez certaines variétés à 10g/l peut atteindre 100% (Mezni, Bizid and Hamza, 1999).

Nous avons remarqué qu'au début des dommages sur la partie aérienne, une perte de la couleur verte des feuilles présentant un dessèchement apical qui va se répandre sur toute la plante.

### 2.2.4. Hauteur des plantes

Le tableau 25 montre qu'il existe une différence hautement significative pour les variétés et pour le stress salin, mais non significative pour l'interaction entre les deux facteurs.

**Tableau 25 : Analyse de la variance de la hauteur des plantes**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	410,604	27,374	3,926	< 0,0001	<b>THS</b>
Stress salin	2	3135,231	1567,615	224,857	< 0,0001	<b>THS</b>
Variété*Stress salin	30	237,178	7,906	1,134	0,316	<b>NS</b>

THS : très hautement significatif, NS : non significatif

Le test de Newman et Keuls au seuil 5% classe les variétés d'orge en 3 groupes homogènes (tableau 26). Les variétés Oued-righ, Saïda183, Rihane03, Soufara et Fouara se classent en première position avec une hauteur de 40.31, 40.21, 40.21, 40.11 et 40.07cm respectivement. En deuxième position se classent les variétés Bahia, Tichedrett, Plaisant, Tina, Acsad176, Tissa, Jaidor, Alanda et Rahma (en moyenne 37cm). En dernière position se trouvent Barberousse et Lagune (en moyenne 35cm).

**Tableau 26 : Groupes homogènes des variétés pour la hauteur des plantes**

Variété	Moyenne estimée	Groupes
Oued-righ	40,31	A
Saïda183	40,21	A
Rihane03	40,21	A
Soufara	40,11	A
Fouara	40,07	A
Bahia	37,86	A B
Tichedrett	37,67	A B
Plaisant	37,67	A B
Tina	37,53	A B
Acsad176	37,40	A B
Tissa	37,26	A B
Jaidor	36,30	A B
Alanda	36,23	A B
Rahma	36,13	A B
Barberousse	35,66	B
Lagune	35,63	B

Le stress salin a diminué la hauteur des plantes de 10.35% pour 130mM et 26.27% pour 180mM. Plusieurs études ont montré que la salinité diminue significativement la hauteur des plantes (Chen et al. 2007 ; Huang et al. 2007 ; Widodo et al. 2009 ; Ahmed et al. 2013).

### 2.2.5. Longueur des racines

L'analyse de la variance montre qu'il n'existe pas de différence significative pour les variétés, mais très hautement significative pour le stress salin (tableau 27).

**Tableau 27 : Analyse de la variance de la longueur des racines**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	45,666	3,044	1,643	0,077	NS
Stress salin	2	954,631	477,315	257,528	< 0,0001	THS
Variété*Stress salin	30	71,158	2,372	1,280	0,184	NS

THS : très hautement significatif, NS : non significatif

Le classement des groupes homogènes pour la dose de salinité montre que plus la dose de salinité augmente il y a une diminution de la longueur des racines. Le stress salin a diminué la longueur des racines de 8.54% pour 130mM et 28.66% pour 180mM.

Plusieurs études confirment la diminution de la longueur des racines par le stress salin (Naseer 2001 ; Anwar et al. 2011 ; Yousofinia et al. 2012). Cette diminution est due à la dégradation nucléaire des cellules méristématiques racinaires (Katsuhara and Kawasaki, 1996).

### 2.2.6. Surface foliaire

Le stress salin influe négativement sur la surface foliaire chez l'orge. En effet l'analyse de la variance a montré des différences significatives pour la variété, la dose de NaCl, et non significative pour l'interaction entre les deux facteurs (tableau 28).

**Tableau 28 : Analyse de la variance de la surface foliaire**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	142,647	9,510	20,823	< 0,0001	THS
Stress salin	2	115,943	57,971	126,936	< 0,0001	THS
Variété*Stress salin	30	20,479	0,683	1,495	0,074	NS

THS : très hautement significatif, NS : non significatif

La classification des variétés en groupes homogènes montre que la variété Saïda183 est la plus grande surface foliaire (moyenne : 11.44cm<sup>2</sup>), suivie par Rihane03 et Tichedrett. En dernière position se classent la variété Barberousse (tableau 29).

**Tableau 29 : Groupes homogènes des variétés pour la surface foliaire**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes			
Saïda183	11,44	A			
Rihane03	11,13	A			
Tichedrett	10,70	A	B		
Oued-righ	10,31	B	C		
Plaisant	10,23	B	C	D	
Alanda	10,10	B	C	D	
Lagune	9,45		C	D	E
Rahma	9,43		C	D	E
Fouara	9,38		D	E	
Tissa	9,09			E	F
Acsad176	9,00			E	F
Soufara	8,82			E	F
Bahia	8,80			E	F
Jaidor	8,64			E	F
Tina	8,39				F
Barberousse	7,74				G

Selon une étude, la diminution de la surface foliaire est une stratégie développée chez blé dur, pour diminuer la limitation de la disponibilité de l'eau, ce qui a pour conséquence une réduction de la capacité photosynthétique de la plante (Steduto *et al.*, 2000). La diminution de la croissance de la partie aérienne, doit réguler plus strictement la pénétration des ions à travers les racines pour empêcher une accumulation trop rapide des ions au niveau aérien, ce qui conduit à une accentuation du déficit hydrique (Singh *et al.*, 1989). La diminution de la surface foliaire est signalée chez plusieurs espèces ; chez le tournesol (Rawson and Munns, 1984) ; chez le blé dur et le blé tendre (Alem *et al.*, 2002) ; chez la luzerne (Abdelly *et al.*, 1995) ; chez le tabac (Zaghdoud *et al.*, 2011) ; chez le bananier (Michel, John and Jules, 2015) ; chez le piment (Ibn Maaouia-houimli *et al.*, 2011) ; chez l'orge (Kadri *et al.*, 2009).

Le classement des variétés selon le taux de diminution de la surface foliaire fait sortir 4 classes (figure 14) ; la première classe comprend 6 variétés qui sont Acsad176, Bahia, Tina, Soufara, Tissa et Oued-righ avec un taux de diminution le plus bas (12.72-18.22%) ; la deuxième classe comprend 8 variétés : Rahma, Rihane03, Fouara, Alanda, Tichedrett, Saïda183, Jaidor et Barberousse avec un taux moyen entre 18.22 et 23.72% ; enfin deux classes, une renferme la variété Plaisant et l'autre (la dernière) comprend la variété Lagune avec un taux entre 29.22 et 34.72%.

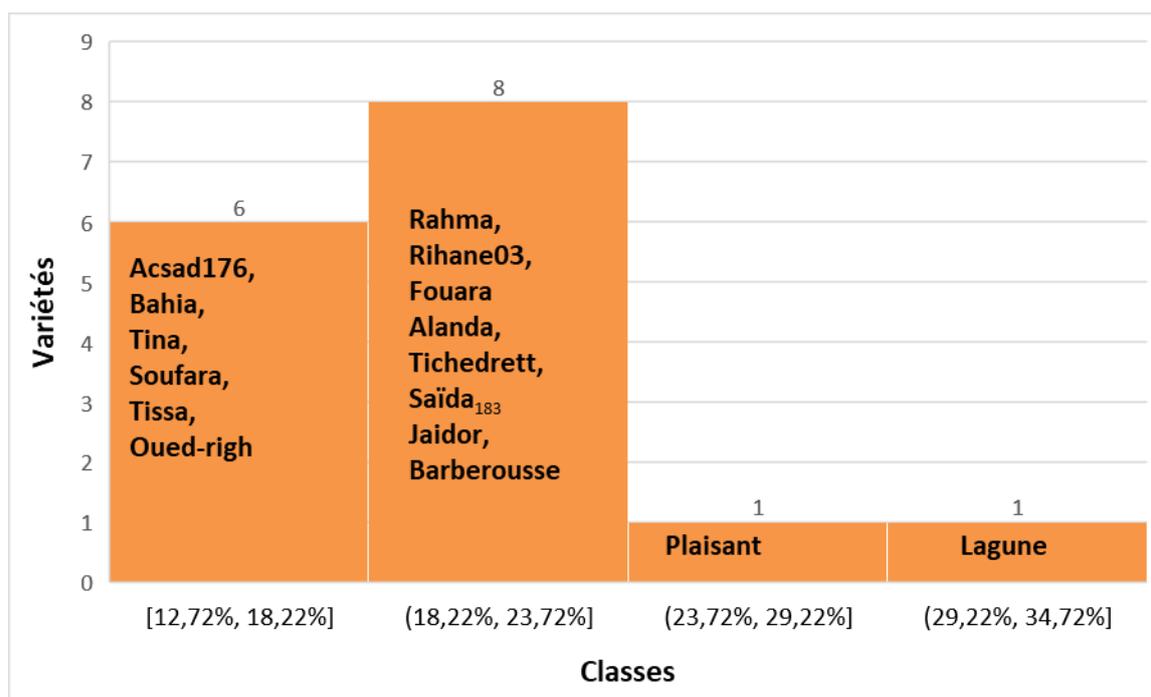


Figure 14 : Classement des variétés selon le taux de diminution de la surface foliaire

### 2.2.7. Biomasse fraîche aérienne

Le stress salin a négativement affecté la biomasse fraîche aérienne. L'analyse statistique montre des différences significatives pour la variété et le stress salin (tableau 30).

Tableau 30 : Analyse de la variance de la biomasse fraîche aérienne

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	25,867	1,724	6,100	< 0,0001	THS
Stress salin	2	237,812	118,906	420,617	< 0,0001	THS
Variété*Stress salin	30	9,096	0,303	1,073	0,386	NS

THS : très hautement significatif, NS : non significatif

Les variétés qui ont enregistré une biomasse fraîche aérienne la plus élevée sont Oued-righ et Saïda183 (7.49 et 7.48g). Puis se classent Tichedrett, Rihane03 et Barberousse (7.21, 7.13 et 7.10g). Suivies par Bahia ensuite Tina, Soufara, Fouara et Rahma. Un autre groupe formé des variétés Plaisant, Alanda, Acsad176 et Jaidor se suit. Enfin se classent Tissa puis Lagune (6.16 et 6.10g) (tableau 31).

**Tableau 31 : Groupes homogènes des variétés pour la biomasse fraîche aérienne**

Variété	Moyenne estimée	Groupes
Oued-righ	7,49	A
Saïda183	7,48	A
Tichedrett	7,21	A B
Rihane03	7,13	A B
Barberousse	7,10	A B
Bahia	7,01	A B C
Tina	6,94	A B C D
Soufara	6,92	A B C D
Fouara	6,85	A B C D
Rahma	6,81	A B C D
Plaisant	6,51	B C D
Alanda	6,41	B C D
Acsad176	6,40	B C D
Jaidor	6,36	B C D
Tissa	6,16	C D
Lagune	6,10	D

La réduction de la biomasse fraîche aérienne est d'autant plus importante que la concentration du milieu en NaCl augmente. Cette diminution varie en fonction des génotypes étudiés. En effet, la biomasse fraîche aérienne a marqué des réductions de 17.72% pour la concentration de 130mM et 37.72% pour la concentration 180mM. Ces résultats sont en accord avec plusieurs études sur l'orge (Naseer 2001 ; Taghipour and Salehi 2008 ; Anwar et al. 2011 Bakht et al. 2007); sur la luzerne (Ibriz *et al.*, 2005) ; sur l'avoine (Bakht *et al.*, 2007) ; sur le blé dur (Laaziza, Ouarraqi and Zid, 2007) ; sur le coton (Saleh, 2011).

### 2.2.8. Biomasse sèche aérienne

La biomasse aérienne sèche est aussi influencée négativement par le stress salin. L'analyse des résultats obtenus (Tableau 32), montre que l'élaboration de la biomasse sèche aérienne est plus dépendante des génotypes expérimentés ( $p < 0.05$ ) et du degré de salinité ( $p < 0.05$ ).

**Tableau 32 : Analyse de la variance de la biomasse sèche aérienne**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	4,754	0,317	4,260	< 0,0001	THS
Stress salin	2	14,355	7,178	96,475	< 0,0001	THS
Variété*Stress salin	30	3,077	0,103	1,379	0,123	NS

THS : très hautement significatif, NS : non significatif

Selon le tableau 33, les génotypes étudiés sont classés en plusieurs groupes homogènes. Le premier groupe est constitué d'une seule variété qui est Oued-righ, puis se classe Rihane03, suivie par

Saïda183 et Fouara. Alors que les autres variétés (sauf Lagune) constituent le quatrième groupe et enfin se classe la variété Lagune en dernière position.

**Tableau 33 : Groupes homogènes des variétés pour la biomasse sèche aérienne**

Variété	Moyennes estimées	Groupes
Oued-righ	2,85	A
Rihane03	2,60	A B
Saïda183	2,59	A B C
Fouara	2,55	A B C
Soufara	2,39	B C
Alanda	2,38	B C
Rahma	2,38	B C
Acsad176	2,37	B C
Tichedrett	2,30	B C
Plaisant	2,28	B C
Tissa	2,28	B C
Bahia	2,28	B C
Barberousse	2,23	B C
Jaidor	2,22	B C
Tina	2,17	B C
Lagune	2,15	C

Les valeurs de la matière sèche aérienne, les plus élevées sont relevées chez les plantes du premier stress. Les réductions de la matière sèche au niveau des traitements conduits sous salinité sont de l'ordre de 8.85% au stress salin de 130mM et 27.67% au traitement de 180mM. Bagci, Ekiz, and Yilmaz (2003) ; Taghipour and Salehi (2008), considèrent que le poids sec est un critère très important pour la sélection des génotypes tolérant à la salinité. Nos résultats coïncident avec ceux obtenus chez l'orge par plusieurs études (Anwar *et al.*, 2011) ; (Bagci, Ekiz and Yilmaz, 2003) ; (Movafegh, Jadid and Kiabi, 2012) ; (Yousofinia *et al.*, 2012) et (Taghipour and Salehi, 2008) ; chez le tournesol (El-Midaoui *et al.*, 2007) ; chez le blé tendre (Zheng *et al.*, 2008) ; chez le colza (Ashraf and Ali, 2008).

La classification des variétés selon le taux de diminution de la matière sèche aérienne, fait sortir 3 classes (figure 15), où la première classe regroupe Tichedrett, Acsad176, Barberousse, Soufara, Fouara (9.42-23.42%) ; la deuxième classe regroupe Tina, Rihane03, Plaisant, Oued-righ, Alanda, Saïda183 (23.42-37.42%) et en dernière position la troisième classe qui regroupe Tissa, Rahma, Lagune et Jaïdor (37.42-51.42%). On remarque que la plupart des variétés qui ont marquées une matière sèche importante sont classées en deuxième classe.

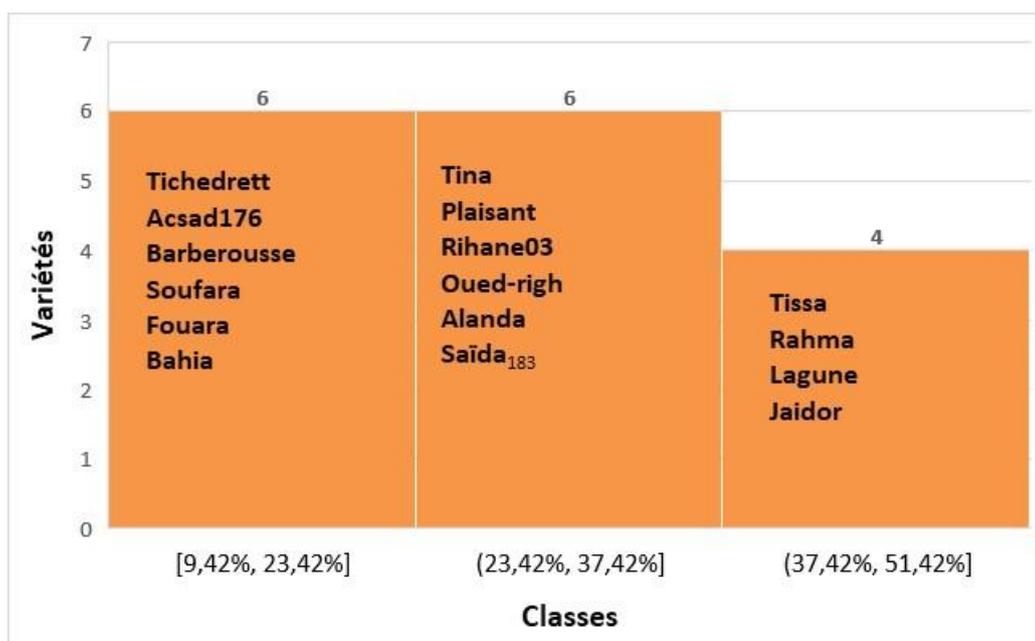


Figure 15 : Classement des variétés selon le taux de diminution de la matière sèche aérienne

### 2.2.9. Biomasse fraîche racinaire

Le stress salin a négativement affecté la biomasse fraîche racinaire. L'analyse statistique montre des différences significatives pour la variété, le stress salin et l'interaction entre les deux facteurs (tableau 34).

Tableau 34 : Analyse de la variance de la biomasse fraîche racinaire

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	1,052	0,070	20,200	< 0,0001	THS
Stress salin	2	7,999	3,999	1151,808	< 0,0001	THS
Variété*Stress salin	30	0,422	0,014	4,055	< 0,0001	THS

THS : très hautement significatif

Les variétés sont classées en six groupes homogènes ; en premier on trouve les variétés Saïda183, Oued-righ, Rihane03, et Fouara (0.85, 0.85, 0.84 et 0.84g). Suivies par les variétés Rahma, Tina et Soufara. Le groupe suivant regroupe les variétés Bahia, Tichedrett, Acsad176, Plaisant et Alanda. Enfin se trouvent les variétés Jaidor, Lagune Tissa et Barberousse (0.61g) (tableau 35).

**Tableau 35 : Groupes homogènes des variétés pour la biomasse fraîche racinaire**

Variété	Moyenne estimée	Groupes
Rihane03	0,85	A
Saïda183	0,85	A
Oued-righ	0,84	A
Fouara	0,84	A
Rahma	0,72	B
Tina	0,72	B
Soufara	0,72	B
Bahia	0,69	B C
Tichedrett	0,69	B C
Acsad176	0,67	B C
Plaisant	0,67	B C
Alanda	0,67	B C
Jaidor	0,61	C
Lagune	0,61	C
Tissa	0,61	C
Barberousse	0,61	C

La diminution de la biomasse fraîche racinaire est plus importante avec l'augmentation de la concentration du milieu en NaCl. Cette diminution varie en fonction des variétés. En effet, la biomasse fraîche racinaire a marqué des réductions de 25.25% pour la concentration de 130mM et 58.58% pour la concentration 180mM. Ces résultats sont en accord avec plusieurs études sur l'orge (Naseer 2001 ; Bakht et al. 2007 ; Taghipour and Salehi 2008 ; Yildiz and Terzi 2013); sur l'avoine (Bakht *et al.*, 2007) ; sur le blé dur (Laaziza, Ouarraqi and Zid, 2007) ; sur le coton (Saleh, 2011). La variété Oued-righ se classe en première position (0.58g), alors qu'en dernière position se classent les variétés Acsad176, Barberousse, Soufara, Jaidor, Lagune, Tina, Rahma, et Tissa.

#### 2.2.10. Biomasse sèche racinaire

Le stress salin a négativement affecté la biomasse sèche racinaire. L'analyse statistique montre des différences significatives pour la variété, le stress salin et l'interaction entre les deux facteurs (tableau 36).

**Tableau 36 : Analyse de la variance de la biomasse sèche racinaire**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	0,069	0,005	17,181	< 0,0001	THS
Stress salin	2	0,657	0,328	1232,341	< 0,0001	THS
Variété*Stress salin	30	0,022	0,001	2,706	0,0001	THS

THS : très hautement significatif

Selon le tableau 37, les variétés étudiées sont classées en plusieurs groupes homogènes. Le premier est constitué d'une seule variété qui est Oued-righ (0.199g), suivie par les variétés Saïda183 et

Rihane03 puis Fouara suivie par Soufara et Alanda. Le groupe suivant est constitué des variétés Acsad176, Rahma, Tichedrett, Tissa, Plaisant, Lagune, Bahia, Tina et Jaidor. Enfin se trouve la variété Barberousse (0.129g).

**Tableau 37 : Groupes homogènes des variétés pour la biomasse sèche racinaire**

Variété	Moyennes estimées	Groupes
Oued-righ	0,199	A
Saïda183	0,194	A B
Rihane03	0,185	A B
Fouara	0,177	B
Soufara	0,159	C
Alanda	0,157	C
Acsad176	0,147	C D
Rahma	0,147	C D
Tichedrett	0,141	C D
Tissa	0,140	C D
Plaisant	0,139	C D
Lagune	0,138	C D
Bahia	0,138	C D
Tina	0,137	C D
Jaidor	0,134	C D
Barberousse	0,129	D

Les valeurs de la matière sèche racinaire, les plus élevées sont relevées chez les plantes à 80 mM. Les réductions sont de l'ordre de 31.91% au stress salin de 130mM et 70.21% au traitement de 180mM. Nos résultats concordent avec ceux obtenus chez l'orge par plusieurs études (Bagci, Ekiz and Yilmaz, 2003) ;(Bakht *et al.*, 2007) ; (Movafegh, Jadid and Kiabi, 2012) ; (Taghipour and Salehi, 2008) ; chez le tournesol (El-Midaoui *et al.*, 2007) ; chez le blé tendre (Zheng *et al.*, 2008) ; chez le colza (Ashraf and Ali, 2008) ; chez l'avoine (Bakht *et al.*, 2007) ; chez le riz (Demiral and Türkan, 2005).

La figure 16 classe les variétés selon le taux de diminution de la biomasse sèche racinaire en 3 classes ; la première regroupe Fouara, Rihane03 et Saïda183 avec un taux le plus bas (58.87-66.57%) ; la deuxième classe regroupe 8 variétés qui sont Tichedrett, Oued-righ, Plaisant, Jaidor, Tissa et Alanda ; la troisième classe regroupe 5 variétés (Barberousse, Bahia, Soufara, Tina) avec un taux de réduction le plus élevé (74.24-81.97%).

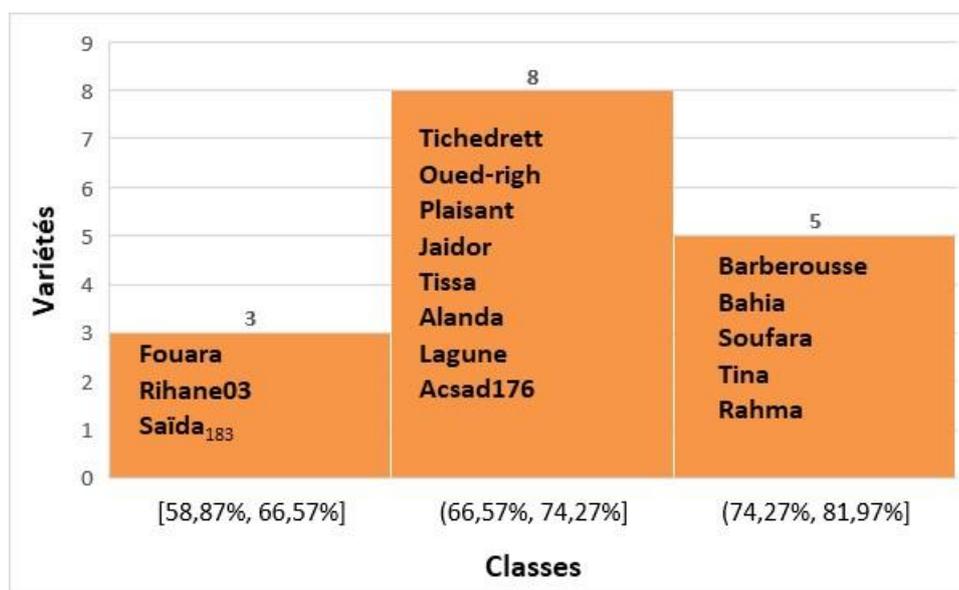


Figure 16 : Classement des variétés selon le taux de diminution de la matière sèche racinaire

### 2.3. Caractères chimiques

Les résultats de l'analyse de variance sont mentionnés dans le tableau 38. Nous remarquons que les résultats ont révélé des différences très hautement significatives sauf pour le potassium racinaire et le magnésium racinaire qui ne sont pas significatifs pour le facteur variété.

Tableau 38 : Analyse de la variance des teneurs en  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$  (%) dans les parties aérienne et racinaire chez les variétés analysées

Cation	$\text{Na}^+$ aérien	$\text{Na}^+$ racinaire	$\text{K}^+$ aérien	$\text{K}^+$ racinaire	$\text{Mg}^{2+}$ aérien	$\text{Mg}^{2+}$ racinaire	$\text{Ca}^{2+}$ aérien	$\text{Ca}^{2+}$ racinaire
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9845	0,9898	0,9404	0,7503	0,9804	0,8288	0,9646	0,9648
<b>F</b>	129,3694	198,6338	32,2121	6,1380	102,2747	9,8865	55,7254	55,9285
<b>Pr &gt; F</b>	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
<b>Variété</b>	19,3261	7,5176	16,3483	1,7456	30,8007	1,3031	24,4677	20,5987
	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0546	< 0,0001	0,2155	< 0,0001	< 0,0001
<b>Stress salin</b>	2825,647	4548,840	575,8292	121,8420	2107,0609	218,3893	1065,7277	1124,7097
	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
<b>Variété* Stress salin</b>	4,6392	4,1781	3,9028	0,6205	4,3592	0,2780	4,0208	2,3413
	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,9312	< 0,0001	0,9999	< 0,0001	0,0010

#### 2.3.1. Teneur en Sodium ( $\text{Na}^+$ )

##### 2.3.1.1. Teneur en sodium de la partie aérienne

Les résultats montrent une forte accumulation en sodium dans la partie aérienne pour toutes les variétés, dont les teneurs augmentent avec l'augmentation de la concentration du sel. Ces résultats sont en concordance avec plusieurs auteurs (Tester and Davenport, 2003) ; (Falakboland *et al.*,

2017) ; (Ouhaddach *et al.*, 2018). Au stress salin 180mM, les variétés Barberousse, Plaisant et Jaïdor ont marqué un taux d'accumulation le plus faible avec des valeurs entre 3.81 et 3.83% (figure 17). Les valeurs les plus élevées en Na<sup>+</sup> se situent entre 5.01 et 5.16% chez les variétés Alanda, Tichedrett, Rihane03, Oued-righ, Saïda183, Bahia et Rahma respectivement (figure 9).

L'effet de l'accumulation du sodium se manifeste par une réduction de la biomasse déjà cité précédemment.

L'orge est parmi les espèces qui peut tolérer des teneurs élevées en sodium dans ses tissus (Shabala *et al.*, 2005) ; (Tavakkoli *et al.*, 2011). Ces teneurs en sodium sont plus importantes dans la partie aérienne que dans la partie racinaire chez cette espèce. La tolérance de l'orge à la salinité est attribuée à son caractère inclusif, qui lui permet d'exporter de grandes quantités de sodium et du chlore vers les feuilles, et de maintenir une faible quantité dans les cellules racinaires (Zid and Grignon, 1991). Mian *et al.*, (2011), ajoutent que les teneurs élevées en sodium dans le xylème et dans les feuilles sont corrélées à la tolérance au stress salin. Le transport excessif du sodium s'accompagne également d'une réduction de l'absorption et du transport de cations et d'anions comme les P<sub>04</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et S<sub>04</sub><sup>-</sup> (Rormero, Maranon and Murillo, 1994). Ceci peut se manifester par une réduction de la croissance des plantes (Wu *et al.*, 2013). Ces dommages ne sont pas dus principalement au sodium mais surtout au chlore, qui est plus toxique que le sodium (White and Broadley, 2001). Wu et al. (2018), signalent que l'accumulation du potassium joue un rôle important pour diminuer les effets néfastes du sodium, c'est pour cette raison que le ratio K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> est très important pour évaluer la tolérance des plantes au stress salin.

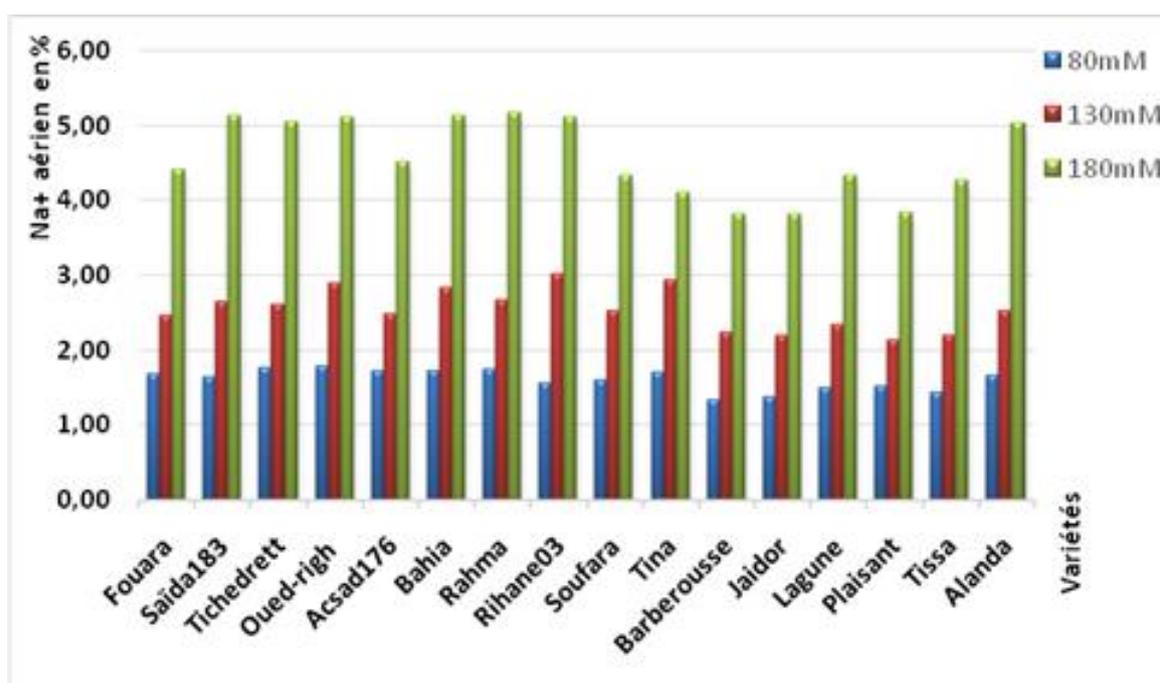


Figure 17 : Teneur de la partie aérienne en sodium en fonction du stress salin

### 2.3.1.2. Teneur en sodium de la partie racinaire

Les résultats (figure 17) montrent une augmentation significative de la teneur des racines en sodium avec l'augmentation des niveaux du stress salin (Wu *et al.*, 2013). La partie racinaire est moins riche en sodium que la partie aérienne (Tester and Davenport, 2003), la plante exporte cet élément vers la partie aérienne. Les variétés qui ont marqué de faibles teneurs en sodium dans la partie aérienne au stress salin maximum (180mM), sont ici plus riches en sodium que les autres variétés. Ces variétés sont Tina, Plaisant et Jaïdor avec des valeurs 2.87 ; 2.87 et 2.95% respectivement. Les variétés qui ont enregistré les plus faibles teneurs au même niveau de stress sont Rahma et Bahia avec 2.23 et 2.25% respectivement. Les autres valeurs varient entre 2.35 et 2.68% pour les autres variétés. Certains travaux ont montré que le génotype sensible au stress salin présente une teneur élevée en sodium dans ses racines (Wu *et al.*, 2013).

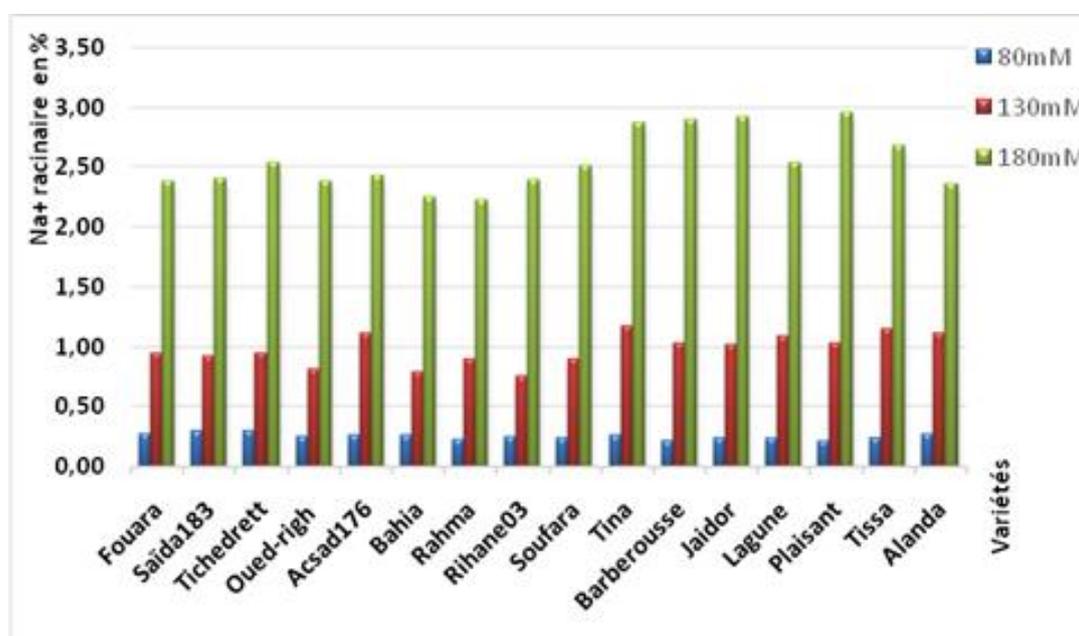


Figure 18 : Teneur de la partie racinaire en sodium en fonction du stress salin

### 2.3.2. Teneur en potassium ( $K^+$ )

#### 2.3.2.1. Teneur en potassium de la partie aérienne

D'après les résultats (figure 19), le stress salin a diminué significativement les teneurs en potassium, ceci concorde avec les résultats d'autres études (Heidari and Jamshid, 2010), (Izadi *et al.*, 2014).

La moyenne générale en  $K^+$  passe de 4.45% à 3.54% puis à 2.84% avec l'augmentation du niveau du stress salin. Cette diminution est due principalement à l'antagonisme entre  $Na^+$  et  $K^+$  (Lynch and Läuchli, 1984), (Wakeel, 2013), ou par l'inhibition de l'influx de  $K^+$  par  $Na^+$  dans la cellule (Suhayda *et al.*, 1990), (Kronzucker *et al.*, 2008).

Les variétés qui ont enregistré les valeurs les plus élevées en  $\text{Na}^+$ , sont celles qui ont enregistré les valeurs les plus élevées en  $\text{K}^+$ .

Plusieurs études ont indiqué que le rapport  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ , est crucial pour la tolérance du  $\text{Na}^+$ , et son maintien à des valeurs élevées dans la partie aérienne est fortement corrélé à la tolérance des glycophytes au stress salin (Munns, 1993), (Shi *et al.*, 2002), (Sunarpi *et al.*, 2005), (Mahlooji *et al.*, 2018). Le rapport  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  des variétés étudiées au stress salin 180mM (tableau 39) montre que les variétés Rihane03, Saïda183, Tichedrett, Oued-righ, Bahia présentent un très bon rapport (0.65 à 0.66). Cependant les variétés Plaisant, Jaïdor, Barberousse ont marqué un faible rapport  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ , (0.53 à 0.56) donc sont sensibles au stress salin. Les autres variétés sont intermédiaires c'est-à-dire moyennement tolérantes. Un faible rapport  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ , indique peut-être que les transports de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont perturbés par le  $\text{Na}^+$  (Mahlooji *et al.*, 2018).

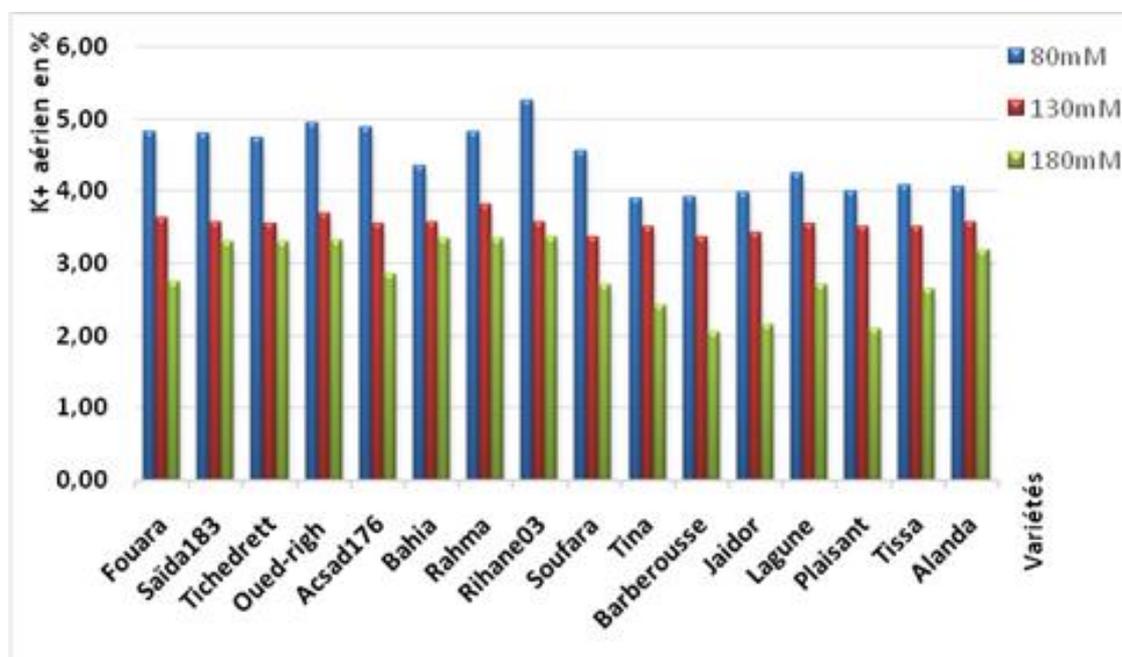


Figure 19 : Teneur de la partie aérienne en potassium en fonction du stress salin

**Tableau 39 : Rapport K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>**

Génotype	80mM	130mM	180mM
Fouara	2,87	1,48	0,62
Saïda <sub>183</sub>	2,93	1,34	0,65
Tichedrett	2,71	1,36	0,65
Oued-righ	2,78	1,28	0,65
Acsad <sub>176</sub>	2,84	1,43	0,63
Bahia	2,52	1,26	0,65
Rahma	2,77	1,44	0,61
Rihane <sub>03</sub>	3,36	1,19	0,66
Soufara	2,87	1,33	0,62
Tina	2,29	1,20	0,59
Barberousse	2,97	1,51	0,54
Jaidor	2,90	1,56	0,56
Lagune	2,83	1,51	0,62
Plaisant	2,63	1,65	0,53
Tissa	2,85	1,59	0,62
Alanda	2,47	1,41	0,63

### 2.3.2.2. Teneur en potassium de la partie racinaire

Les résultats (figure 20), montrent une diminution de la teneur racinaire en potassium qui s'accroît avec l'augmentation du niveau du stress salin. Les variétés qui ont marquées les teneurs en K<sup>+</sup> les plus élevées au stress 180mM sont Tina, Plaisant, Jaïdor et Barberousse avec 1.55, 1.56, 1.61 et 1.62 % respectivement. Ces variétés ont enregistré les valeurs les plus basses en cet élément dans la partie aérienne. Il semble que ces variétés n'ont pas pu transporter de grandes quantités de cet élément vers la partie aérienne, ceci est dû à l'inhibition du K<sup>+</sup> par le Na<sup>+</sup> (Kronzucker *et al.*, 2008).

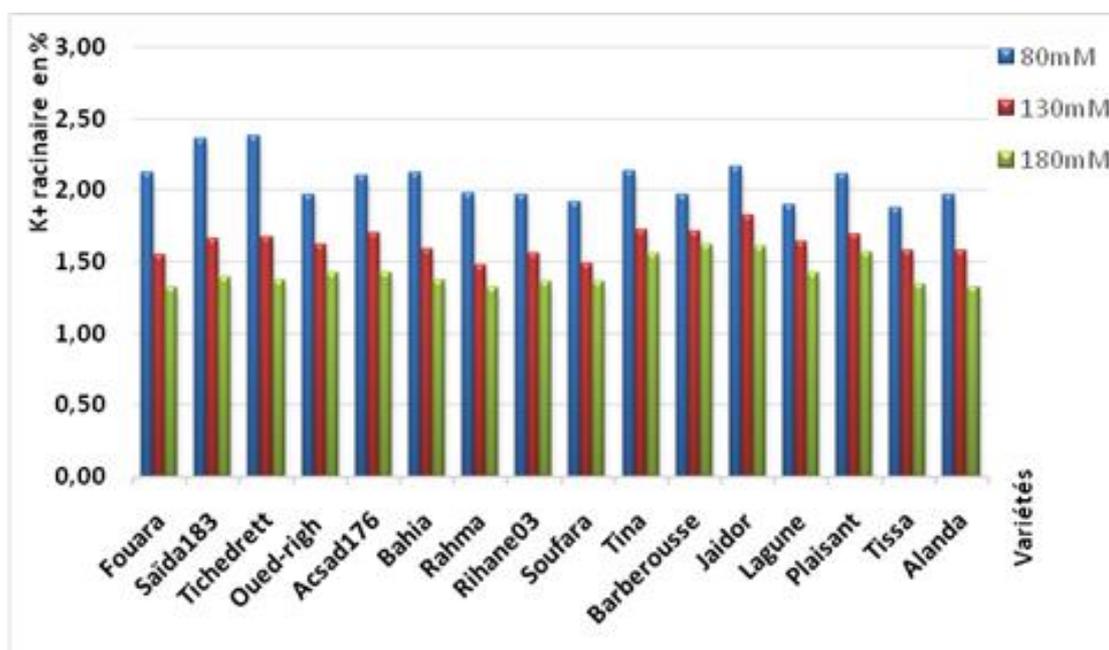


Figure 20 : Teneur de la partie racinaire en potassium en fonction du stress salin

### 2.3.3. Teneur en magnésium ( $Mg^{2+}$ )

#### 2.3.3.1. Teneur en magnésium de la partie aérienne

Les résultats obtenus (figure 21), montrent une baisse significative de la teneur du magnésium avec l'augmentation du niveau du stress salin. Ces résultats sont en concordance avec d'autres études (Keiffer and Ungar, 1997), (Hamrouni *et al.*, 2011). Les variétés qui ont gardé un niveau élevé en  $Mg^{2+}$  au stress 180mM, sont Rihane03, Bahia, Saïda183 et Oued-righ avec 0.48, 0.49, 0.51, et 0.51% respectivement. Les variétés qui ont marqué une faible teneur en  $Mg^{2+}$  sont Barberousse, Jaïdor, Plaisant avec 0.31, 0.35 et 0.35% respectivement. Les autres variétés ont enregistré des valeurs entre 0.40 et 0.45%. La diminution de la teneur du  $Mg^{2+}$  est due principalement à l'interférence du  $Na^+$  (Hu and Schmidhalter, 2005). Malgré que certains auteurs considèrent que cet élément ne soit pas un critère capital quant à l'adaptation des plantes au stress salin (Hamrouni *et al.*, 2011). D'après nos résultats, on peut considérer que les variétés qui ont une teneur élevée en magnésium peuvent être considérées tolérantes au stress salin.

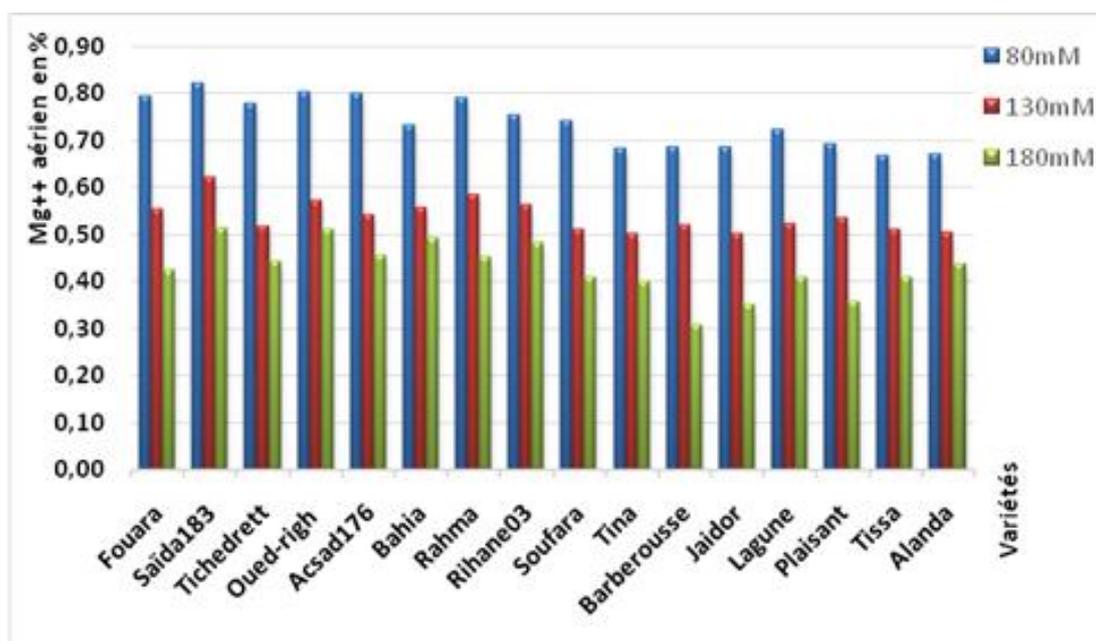


Figure 21 : Teneur de la partie aérienne en magnésium en fonction du stress salin

### 2.3.3.2. Teneur en magnésium de la partie racinaire

Le stress salin a significativement diminué la teneur en  $Mg^{2+}$  dans la partie racinaire (figure 22), cette teneur est inférieure à celle de la partie aérienne. Mais, il n'existe pas une différence significative entre les variétés. Au stress salin 180mM, les teneurs en  $Mg^{2+}$  les plus élevées sont entre 0,31 et 0,36% (Soufara, Bahia, Oued-righ et Saïda183) et les valeurs les plus basses sont entre 0,24 et 0,26% (Plaisant, Barberousse, Jaïdor) ; les valeurs sont entre 0,27 et 0,29% pour les autres variétés.

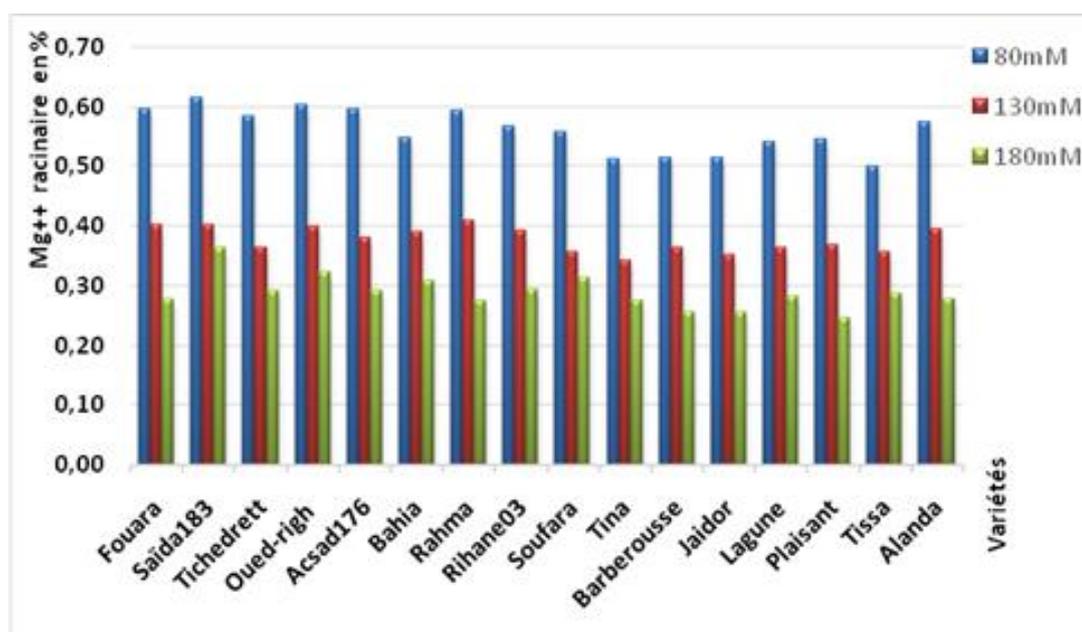


Figure 22 : Teneur de la partie racinaire en magnésium en fonction du stress salin

### 2.3.4. Teneur en calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

#### 2.3.4.1. Teneur en calcium dans la partie aérienne

Les résultats obtenus (figure 23), montrent une diminution de la teneur de  $\text{Ca}^{2+}$  d'une manière significative. Ces résultats sont en accord avec d'autres travaux (Patel, Bhensdadia and Pandey, 2009), (Wu *et al.*, 2013). Au stress salin 180mM les faibles taux de calcium sont entre 0.49 et 0.57% chez les variétés Plaisant, Jaïdor, Barberousse, Tina et Tissa. Les valeurs les plus élevées en calcium sont entre 0.68 et 0.72% chez les variétés Oued-righ, Bahia, Saïda183 et Rihane03. Les autres variétés ont enregistré des valeurs intermédiaires (de 0.59 à 0.64%). La diminution des taux de calcium est due principalement à la présence d'ion de  $\text{Na}^+$  qui perturbe l'absorption de cet élément (Haouala, Ferjani and El Hadj, 2007). Une étude a montré que la  $\text{Ca}^{2+}$  joue un rôle important dans la sélectivité  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  (Wu and Wang, 2012). Donc cet élément aide la plante à tolérer le stress salin.

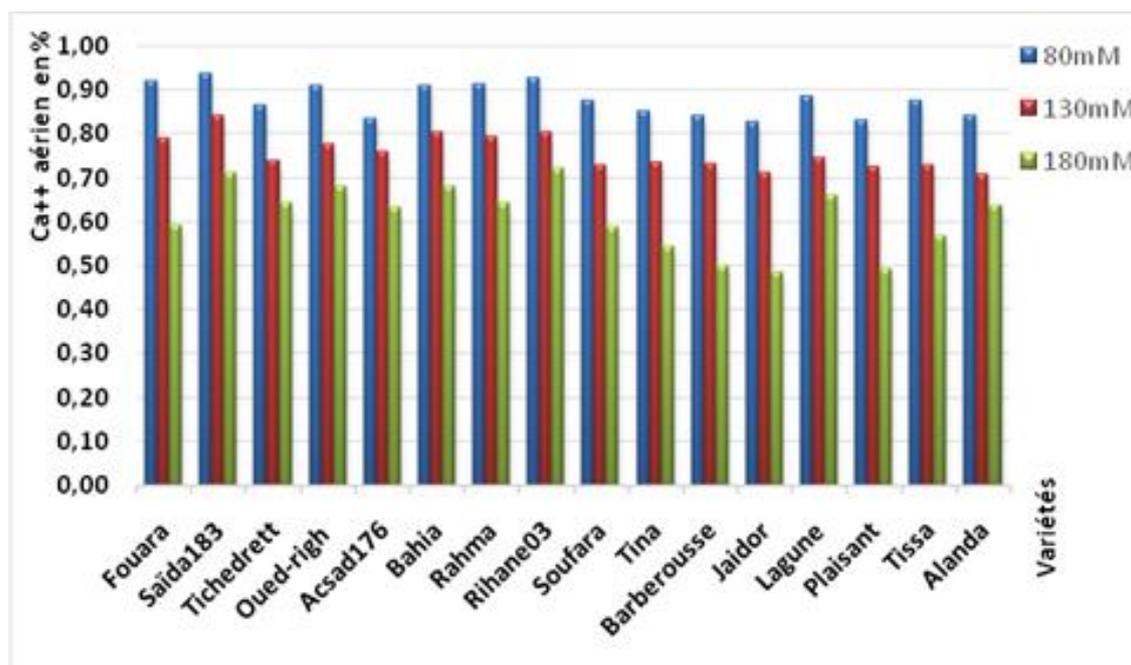


Figure 23 : Teneur de la partie aérienne en calcium en fonction du stress salin

#### 2.3.4.2. Teneur en calcium de la partie racinaire

La partie racinaire est moins riche en calcium que la partie aérienne. Les résultats (figure 24), montrent un effet significatif du stress salin sur la teneur des racines en  $\text{Ca}^{2+}$ . Plus le niveau du stress salin augmente, la teneur en  $\text{Ca}^{2+}$  diminue. Les faibles taux de calcium racinaire sont enregistrés chez les variétés Barberousse, Jaïdor et Plaisant avec 0.26, 0.26 et 0.27% respectivement. Les valeurs les plus élevées sont entre 0.35 et 0.38 chez les variétés Oued-righ, Bahia, Rahma, Rihane03 et Saïda183. Les autres variétés sont intermédiaires avec des valeurs

entre 0.29 et 0.33%. Une étude a montré que la teneur en calcium est corrélée positivement à la matière sèche et au rendement (Janzen and Chang, 1987). La diminution de l'absorption du calcium est due à la présence du Na<sup>+</sup>, où ce dernier déplace Ca<sup>2+</sup> des parois cellulaires (Zhu, 2002).

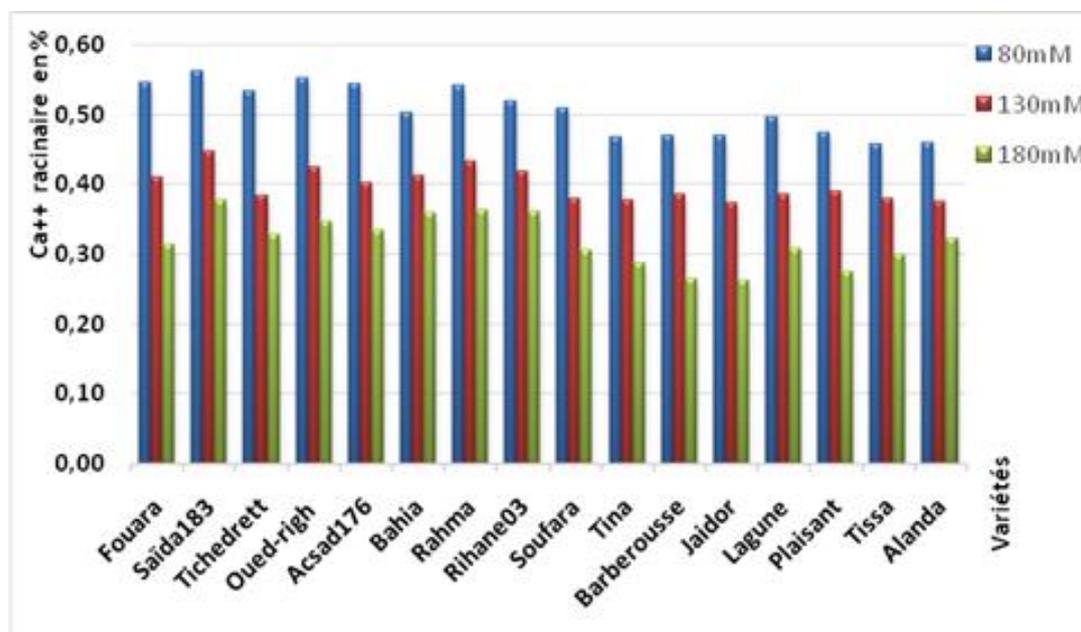


Figure 24 : Teneur de la partie racinaire en calcium en fonction du stress salin

## 2.4. Caractères biochimiques et physiologiques

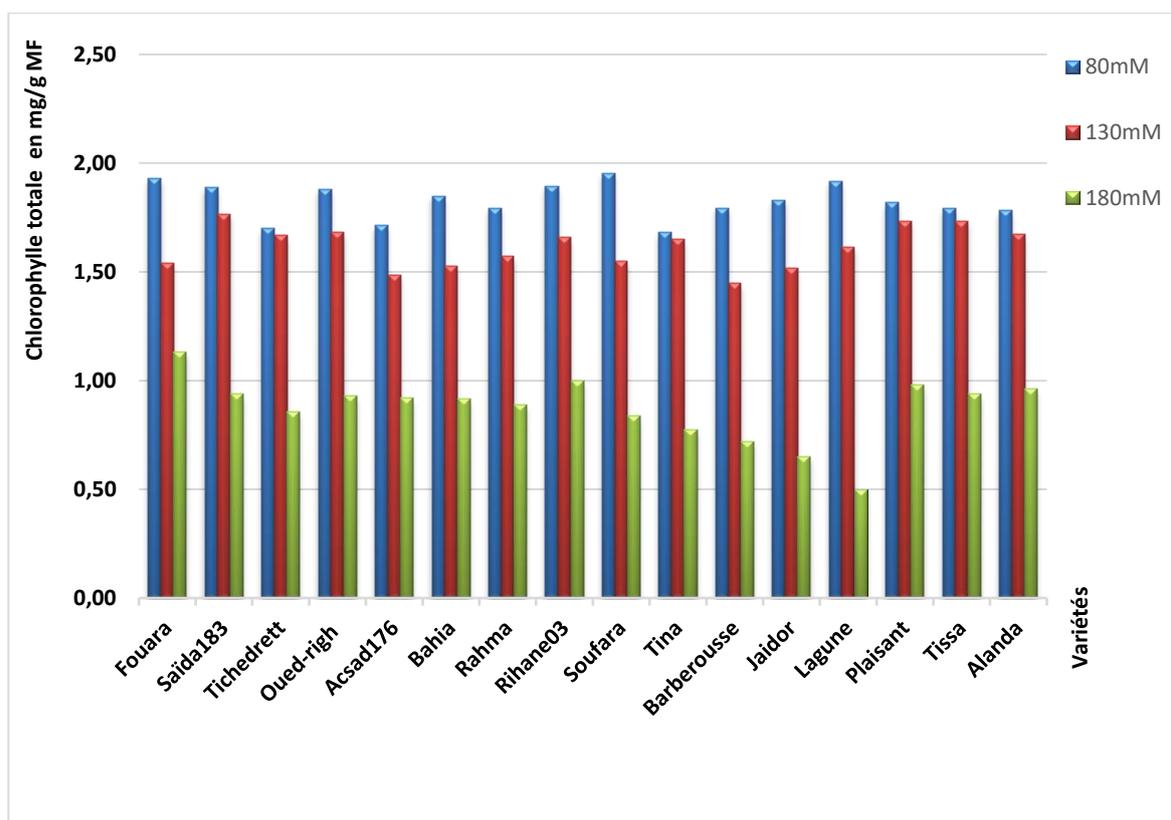
### 2.4.1. Chlorophylle

La teneur en chlorophylle totale chez toutes les variétés a été significativement réduite sous l'effet du stress salin (Tableau 40). Le taux de diminution été en moyenne de 11% entre T1 et T2 et 46% entre T2 et T3. L'analyse de la variance classe les traitements en 3 groupes individuels de la faible concentration à la forte concentration. Par contre on n'a pas enregistré des différences significatives entre les variétés. Les variétés qui ont enregistré la teneur moyenne la plus élevée en chlorophylle totale sont Fouara, Saïda183, Plaisant, Rihane03 et Oued-righ et ce sont les mêmes variétés qui ont marqué une forte accumulation de la biomasse sèche qu'on déjà vu. Alors les variétés Lagune Jaidor et Barberousse ont enregistré les plus faibles teneurs moyennes (figure 25).

Tableau 40 : Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle totale

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	0,734	0,049	1,646	0,076	NS
Stress salin	2	24,171	12,085	406,789	< 0,0001	THS
Variété*stress salin	30	1,026	0,034	1,151	0,298	NS

THS : très hautement significative, NS : non significative



**Figure 25 : Teneur en chlorophylle en fonction du stress salin**

D'après les résultats, la teneur en chlorophylle totale diminue avec l'augmentation de l'intensité du stress salin. Ceux-ci corroborent à ce qui a été rapporté par (Zhao *et al.*, 2019) chez *Ginkgo biloba* ; (Gomes *et al.*, 2017) chez *Salvinia auriculata* ; (Jiang *et al.*, 2006), (Movafegh, Jadid and Kiabi, 2012), (Khosravinejad, Heydari and Farboodnia, 2008), (Kalaji *et al.*, 2011) ; (Yousfi *et al.*, 2007) chez l'orge ; (Shin *et al.*, 2020) chez la laitue ; (Bouassaba and Chougui, 2018) chez le piment.

La diminution de l'activité photosynthétique est l'un des principaux effets de la salinité sur la plante, en raison de la réduction de la chlorophylle, qui peut s'expliquer par ; la réduction de l'absorption de CO<sub>2</sub> (García-Sánchez *et al.*, 2002) ; la fermeture des pores des feuilles (Hsu and Kao, 2003) ; la destruction des chloroplastes (Faheed, Hassanein and Azooz, 2005) ; l'effet antagoniste du NaCl sur l'absorption de l'azote (N) qui constitue une composante de la structure de la molécule de chlorophylle (Grattan and Grieve 1999) et la diminution de l'absorption du fer (Yousfi *et al.*, 2007).

#### 2.4.2. Teneur en proline

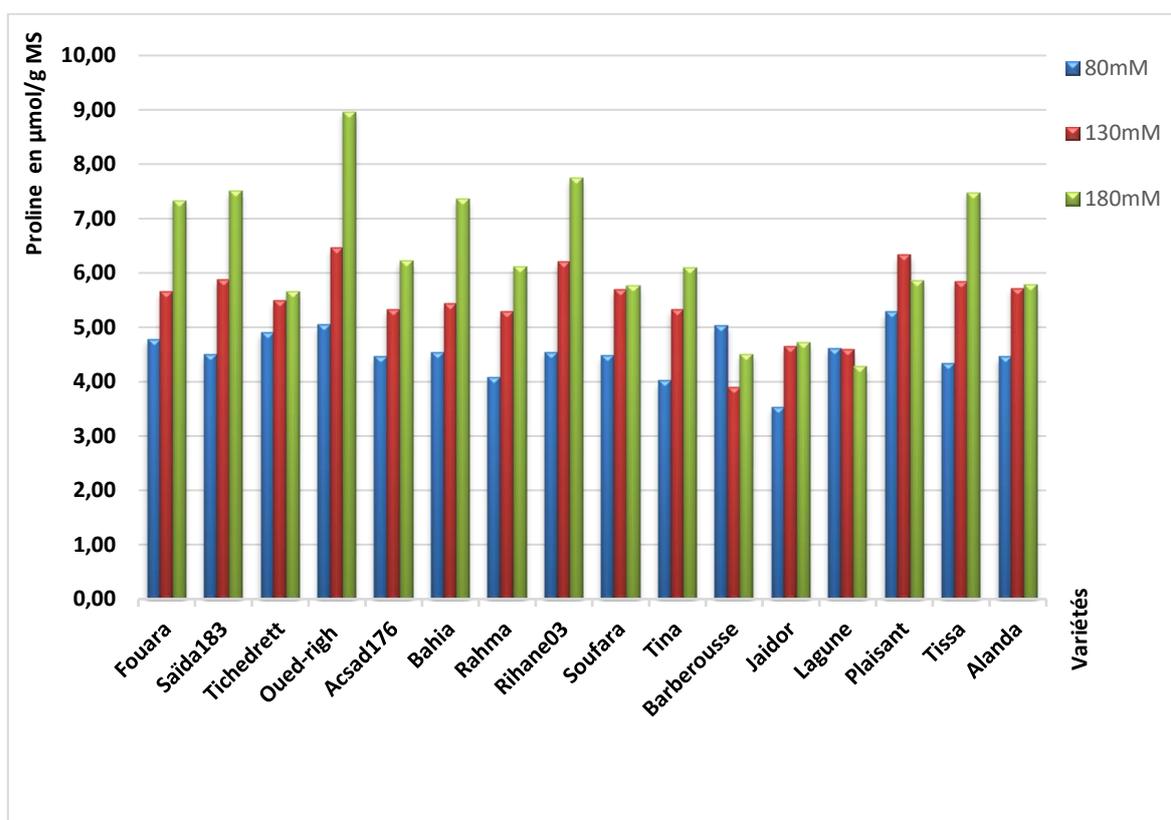
La teneur en proline augmente avec la salinité chez la plupart des variétés d'orge. En effet, l'analyse statistique montre des différences très hautement significatives des deux facteurs ; variété et stress salin ainsi que l'interaction entre les deux facteurs (tableau 41).

**Tableau 41 : Analyse de la variance de la teneur en proline**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	60,632	4,042	32,502	< 0,0001	<b>THS</b>
Stress salin	2	77,962	38,981	313,438	< 0,0001	<b>THS</b>
Variété*stress salin	30	43,519	1,451	11,664	< 0,0001	<b>THS</b>

THS : très hautement significative

La figure 26 montre que les valeurs de la proline les plus faibles sont enregistrés au faible stress salin. Alors que les valeurs les plus élevées sont marquées par le fort stress salin. C'est ainsi que le classement des variétés selon la teneur totale en proline est enregistré dans le tableau 42.

**Figure 26 : Teneur en proline en fonction du stress salin**

La variété Oued-righ prend la première position pour la teneur la plus élevée en proline suivie par les variétés Rihane03, Saïda183, Fouara, Tissa, Plaisant et Bahia. Alors que les variétés Lagune, Barberousse et Jaidor sont classées en dernière position. L'interaction entre les deux facteurs garde presque le même classement des variétés.

**Tableau 42 : Groupes homogènes des variétés pour la teneur en proline**

Variété	Moyennes estimées	Groupes
Oued-righ	6,820	A
Rihane03	6,157	B
Saïda183	5,958	B
Fouara	5,920	B
Tissa	5,886	B
Plaisant	5,823	B
Bahia	5,776	B
Tichedrett	5,341	C
Acsad176	5,335	C
Alanda	5,314	C
Soufara	5,314	C
Rahma	5,154	C
Tina	5,150	C
Lagune	4,488	D
Barberousse	4,476	D
Jaidor	4,296	D

Les teneurs en proline s'accroissent chez de nombreuses espèces soumises au stress salin ; tomate et haricot (Snoussi and Abbad, 2012), tournesol (Alvarez, Tomaro and Benavides, 2003), maïs (Cha-Um and Kirdmanee, 2009), orge (Omar et al. 2009, Arias-Baldrich et al. 2015, Metoui Ben Mahmoud et al. 2020), sorgho (De-Lacerda *et al.*, 2003). Cette accumulation peut atteindre des concentrations élevées sans être toxique comme les ions (Silva-Ortega *et al.*, 2008), mais toxique pour certaines espèces (Mansour and Ali, 2017).

Cette accumulation intervient principalement dans l'ajustement de pression osmotique cytoplasmique-vacuole (Stewart and Lee, 1974), une protection de la stabilité de la membrane (Turkyilmaz Unal, Aktas and Guven, 2014), protège l'intégrité des protéines et améliore les activités de différentes enzymes (De Lacerda, Cambraia, Oliva, and Ruiz 2003; Khedr et al. 2003), améliore la photosynthèse avec une corrélation positive azote-proline-éthylène (Iqbal, Umar and Khan, 2015), joue un rôle en tant que chélateur de métaux (Hayat *et al.*, 2012), antioxydant et par l'augmentation des systèmes de défense antioxydants (Hoque et al. 2008), mais Signorelli et al. (2013), note que l'accumulation de la proline ne joue aucun rôle significatif comme antioxydant.

En comparant les teneurs en proline avec les teneurs de chlorophylle, on trouve presque les mêmes variétés qui ont enregistré les teneurs les plus élevées en chlorophylle sont les mêmes pour les teneurs les plus élevées en proline. Ceci a été expliqué par le rôle de la proline qui préserve la teneur en chlorophylle afin de protéger l'activité photosynthétique en conditions de stress salin (Yıldıztuğay *et al.*, 2011).

Cette accumulation apparaît comme un assez bon marqueur pour déterminer le génotype tolérant ainsi que le génotype sensible.

### 2.4.3. Teneur en sucres solubles totaux

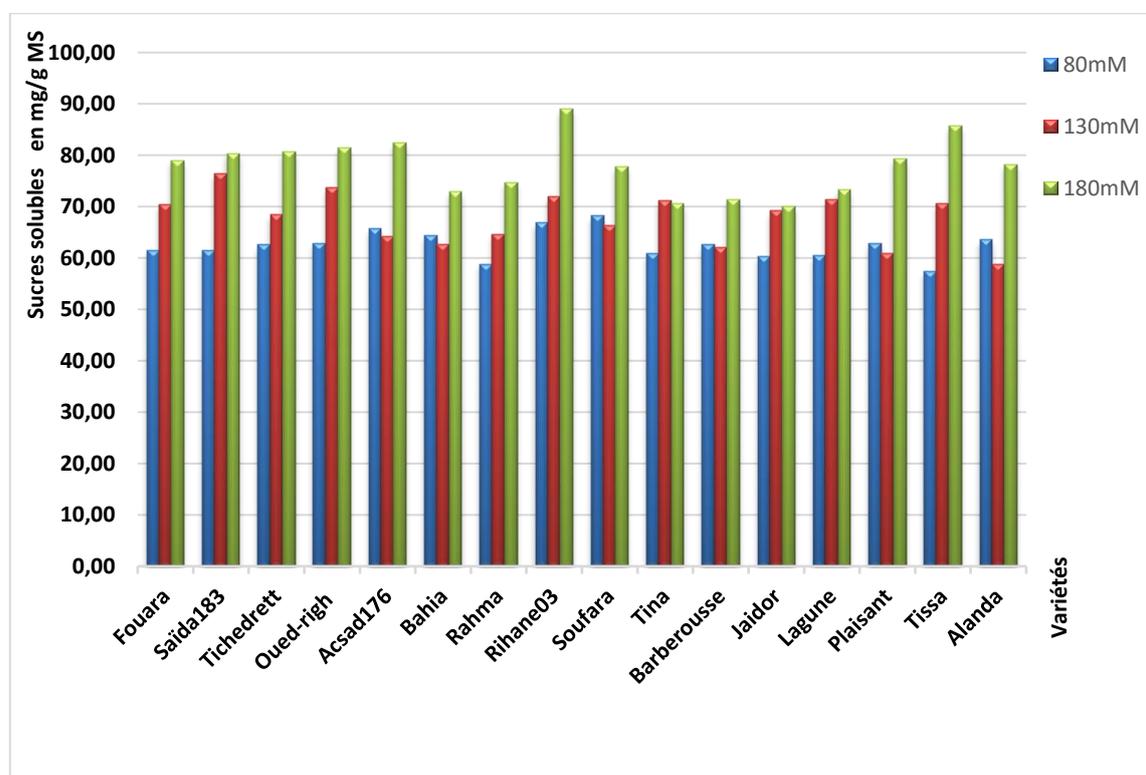
La teneur en sucres solubles augmente généralement avec l'augmentation de la concentration en NaCl chez la plupart des variétés étudiées. Mais, l'analyse statistique ne montre pas des différences significatives ni entre les variétés ; ni pour l'interaction entre les deux facteurs (variétés x stress salin) (tableau 43).

**Tableau 43 : Analyse de la variance de la teneur en sucres solubles totaux**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15	1183,943	78,930	1,842	<b>0,039</b>	<b>NS</b>
Stress salin	2	5892,781	2946,390	68,769	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>THS</b>
Variété*stress salin	30	1654,662	55,155	1,287	0,179	<b>NS</b>

THS : très hautement significative, NS : non significative

La figure 27 montre que les valeurs des teneurs en sucres solubles les plus faibles sont enregistrés au faible stress salin (80mM). Alors que les valeurs les plus élevées sont marquées par le fort stress salin (180mM). C'est ainsi que les variétés qui ont marquées la teneur totale en sucres solubles la plus élevée sont Rihane 03 suivie par Saïda et Oued-righ. Donc la contrainte saline induit une accumulation importante en sucres solubles.



**Figure 27 : Teneur en sucres solubles totaux en fonction du stress salin**

Les valeurs varient de 57.39 mg/g chez la variété Tissa au stress 80mM à 88.97 mg/g chez la variété Rihane03 au stress 180mM. En moyenne générale, les variétés qui ont marqué les valeurs les élevées en sucres solubles sont : Rihane03, Saïda, Oued-righ et Tissa. Alors que les variétés : Alanda, Bahia, Jaidor, Rahma et Barberousse ont présenté les plus faibles valeurs en sucres solubles.

Les sucres solubles sont des osmolytes qui contribuent directement à l'ajustement osmotique, pour maintenir de nombreuses fonctions physiologiques.

Plusieurs études sur plusieurs espèces ont montré des augmentations en sucres solubles sous stress salin ; tomate (Amini and Ehsanpour, 2005) ; tournesol (Ouazzani and Moustaghfir, 2020) ; riz (Zhang *et al.*, 2012) ; blé (Khatkar and Kuhad 2000 ; Sadak and Talaat 2021) ; maïs (Tajdoost, Farboodnia and Heidari, 2007) ; orge (Khosravinejad, Heydari, and Farboodnia 2009).

Les plantes supérieures ont développé différents mécanismes d'adaptation pour réduire les dommages oxydatifs résultant du stress salin, par la biosynthèse accrue d'osmoprotecteurs, telles que les sucres solubles (Fayez and Bazaid, 2014). Ces sucres (osmolytes), contribuent non seulement à l'osmorégulation, mais également à la protection de la structure de différentes biomolécules et membranes (Hare, Cress and Van Staden, 1998) ; agissent comme des piègeurs de radicaux libres et éviter leurs effets néfastes sur les cellules (Couée *et al.*, 2006) ; et protègent les protéines et les membranes contre les dommages causés par de fortes concentrations d'ions inorganiques (Rathinasabapathi, 2000).

Darko *et al.* (2017), ajoutent que l'augmentation de la teneur en sucres est accompagnée par une diminution de la teneur en amidon qui se dégrade. Mais la dégradation de l'amidon n'est pas la seule source de sucres (Albouchi, Ghrir and El Aouni, 1997).

Le taux de sucres solubles est contrôlé par de multiples gènes d'où leur identification permet de bien comprendre le comportement des plantes en conditions de stress abiotique (Rosa *et al.*, 2009). Les récentes études essayent de créer de nouvelles variétés qui ont la capacité d'augmenter le taux d'osmolytes pour permettre aux plantes de résister aux stress abiotiques (Rathinasabapathi, 2000). Donc les sucres solubles jouent un grand rôle qui permet aux plantes de tolérer les conditions de stress salin

#### **2.4.4. Teneur relative en eau (TRE ou RWC)**

La teneur relative en eau a été significativement réduite sous l'effet du stress salin (tableau 44).

En effet, toutes les variétés ont été affectés mais avec des degrés différents.

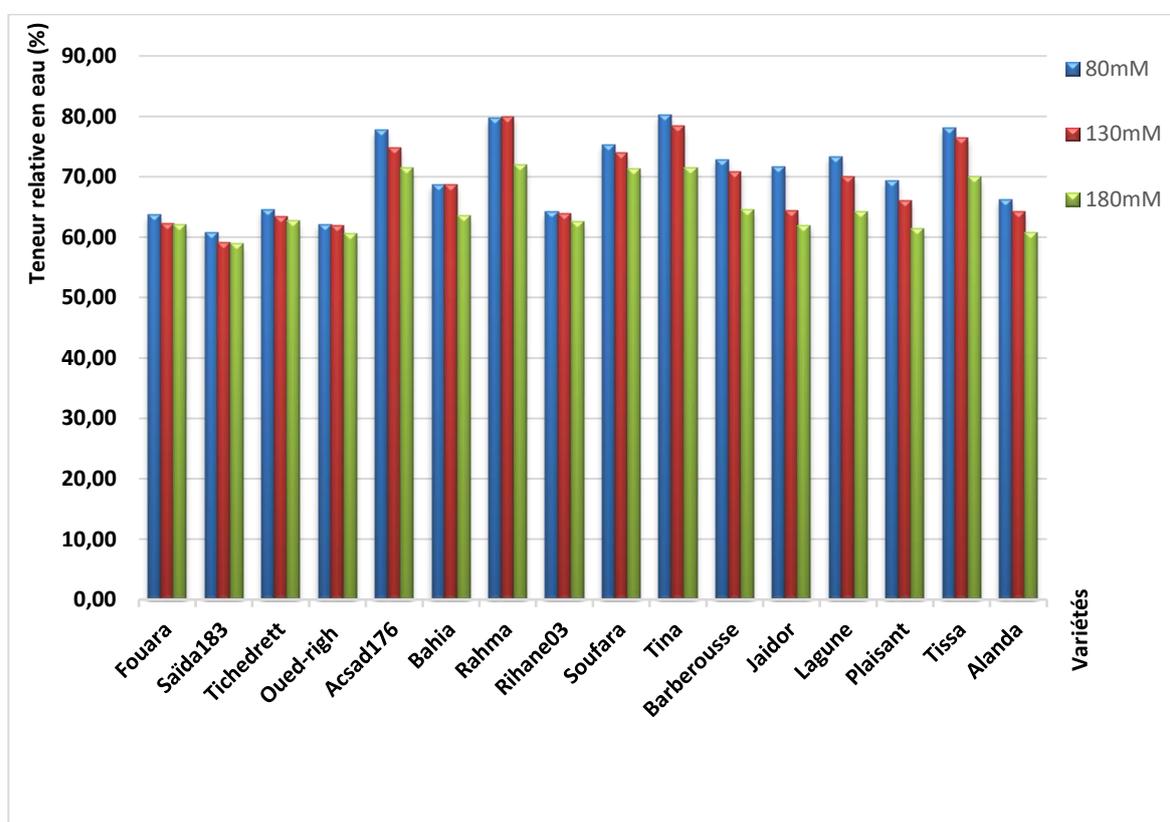
L'analyse statistique ne montre aucune différence significative pour l'interaction entre les deux facteurs (variété x stress salin).

**Tableau 44 : Analyse de la variance de la teneur en sucres solubles totaux**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15,00	4442,41	296,16	46,65	< 0,0001	THS
Stress salin	2,00	763,63	381,82	60,14	< 0,0001	THS
Variété*stress salin	30,00	288,01	9,60	1,51	0,068	NS

THS : très hautement significative, NS : non significative

La figure 28, montre une variabilité nette des valeurs de la teneur relative en eau. En effet la teneur maximale (80.21%) à la première concentration de stress salin a été enregistrée chez la variété Tina. Alors que la variété Saïda183 a enregistré la plus faible valeur (58.93%) à la troisième concentration de stress salin. Les autres variétés ont enregistré des valeurs intermédiaires (figure 19).

**Figure 28 : Teneur relative en eau en fonction du stress salin**

Le classement des variétés en groupes homogènes (tableau 45), montre que les variétés qui ont une surface foliaire importante ont marqué une TRE plus élevée que les variétés à faible surface foliaire. Ce classement selon la moyenne totale des trois niveaux de stress ne distingue pas bien les variétés tolérantes et des variétés moins tolérantes.

**Tableau 45 : Groupes homogènes des variétés pour la teneur relative en eau**

Variété	Moyennes estimées	Groupes
Rahma	77,217	A
Tina	76,696	A
Tissa	74,809	A B
Acsad176	74,640	A B
Soufara	73,517	B
Barberousse	69,382	C
Lagune	69,237	C
Bahia	66,966	C D
Jaidor	66,016	D E
Plaisant	65,601	D E
Alanda	63,783	D E F
Rihane03	63,571	D E F
Tichedrett	63,540	D E F
Fouara	62,687	E F
Oued-righ	61,500	F G
Saïda	59,620	G

Selon Mahlooji et al. (2018), les géotypes qui gardent une TRE plus stable avec le stress salin, sont plus tolérants que ceux qui montrent une diminution importante en TRE. A cet effet, nous avons procédé à la classification des variétés selon le taux de diminution de la TRE de la première concentration à la troisième concentration du stress salin.

Selon cette dernière classification les variétés Fouara, Rihane03, Oued-righ, Tichedrett, Saïda183, Soufara, Bahia présentent le plus faible taux de réduction (2.09 à 8.09%) en TRE suivies par huit variétés (Acsad176, Alanda, Rahma, Tissa, Tina, Barberousse, Plaisant, Lagune) avec un taux de réduction de 8.09 à 13.79% et enfin se classe la variété Jaïdor avec le taux de réduction le plus élevé (13.79 à 19.49) (figure 29).

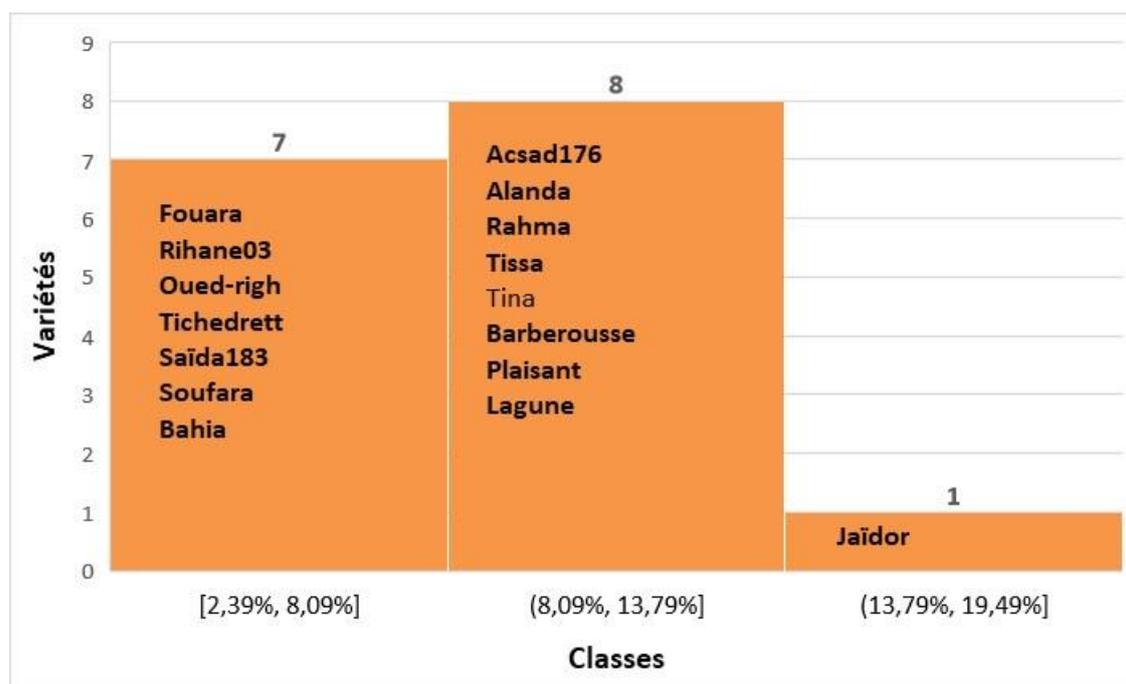


Figure 29 : Classement des variétés selon le taux de réduction de la TRE

#### 2.4.5. Taux de déperdition d'eau (TDE ou RWL)

L'analyse statistique (tableau 46), montre que le taux de déperdition d'eau est significativement affecté par la salinité (inversement proportionnelle). Cependant on n'a pas enregistré des différences significatives ni entre les variétés ni pour l'interaction entre les deux facteurs (stress salin et variété).

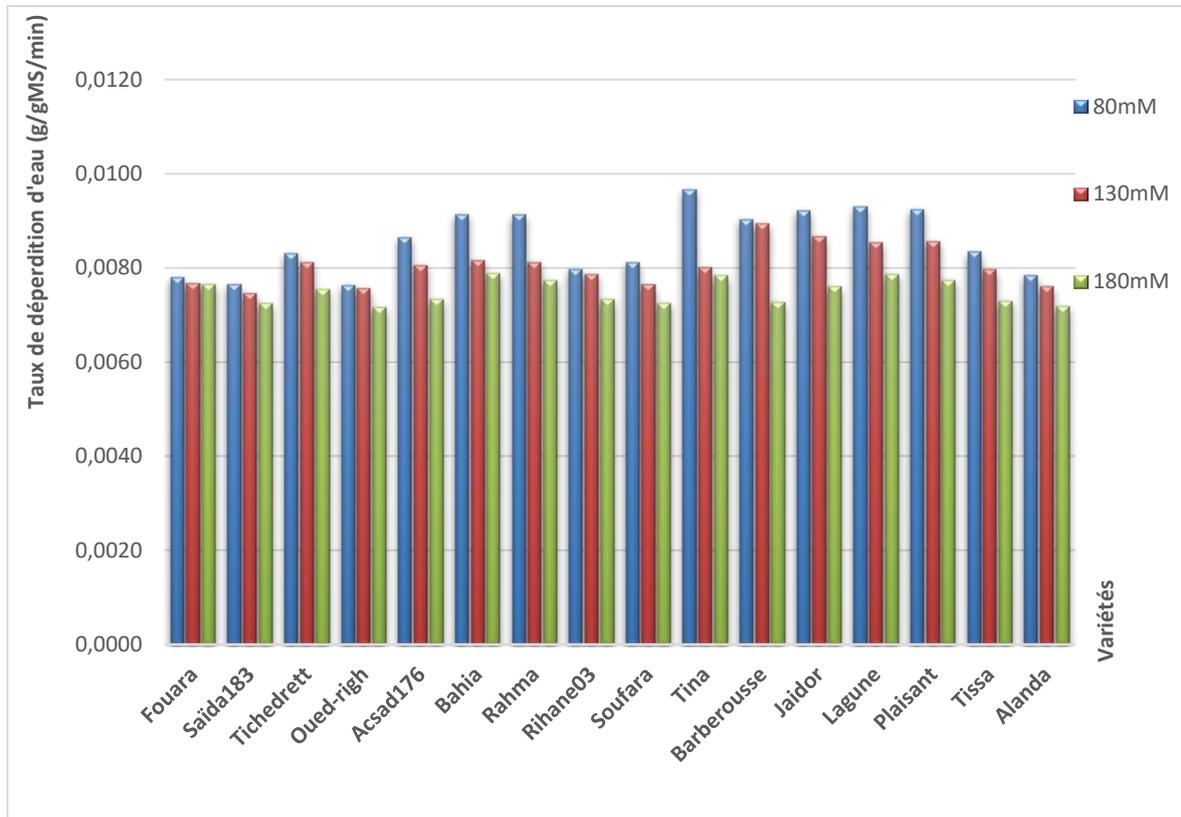
Tableau 46 : Analyse de la variance du taux déperdition d'eau

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15,00	0,000023	0,0000016	1,940	<b>0,028</b>	<b>NS</b>
Stress salin	2,00	0,000027	0,0000137	17,101	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>THS</b>
Variété*stress salin	30,00	0,000009	0,0000003	0,378	0,998	<b>NS</b>

THS : très hautement significative, NS : non significative

La figure 30 montre la variation du taux de déperdition d'eau chez les variétés étudiées selon le stress salin. On remarque qu'il existe une diminution du taux de déperdition avec l'augmentation de l'intensité du stress salin chez toutes les variétés mais un taux variable. Cette diminution permet à la plante de maintenir une certaine quantité d'eau dans les cellules pour diluer un peu le taux de sels absorbés.

Plusieurs travaux ont indiqué que lorsque la salinité augmente, le taux de déperdition d'eau diminue (Chijioko 2017 ; Bissati et al. 2011 ; Soualmi, Belkhodja, and Adda 2017 ; Yasamin et al. 2017).



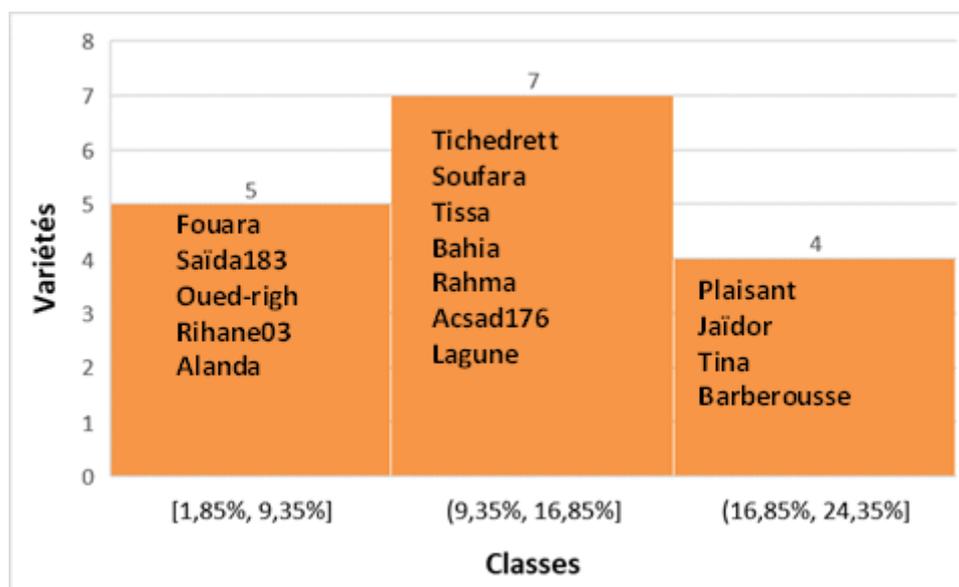
**Figure 30 : Taux de déperdition d'eau en fonction du stress salin**

La classification des variétés selon le taux de diminution du TDE de la première concentration à la troisième concentration du stress salin (tableau 47). On considère que si le taux de diminution est faible, c'est-à-dire plus stable la variété est tolérante et plus ce taux est élevé, on considère que la variété est sensible au stress salin. On peut expliquer ceci par la teneur en eau des tissus ; plus la teneur en eau des tissus est élevée, la plante peut perdre plus d'eau et si les tissus sont moins riches en eau la plante contrôle les pertes d'eau.

**Tableau 47 : Classification des variétés selon le taux de diminution du TDE**

Génotype	Taux de diminution du TDE
Fouara	1,85%
Saïda183	5,60%
Oued-righ	6,30%
Rihane03	8,13%
Alanda	8,70%
Tichedrett	9,50%
Soufara	10,80%
Tissa	12,97%
Bahia	13,97%
Rahma	15,67%
Acsad176	15,81%
Lagune	15,95%
Plaisant	17,08%
Jaïdor	18,42%
Tina	19,40%
Barberousse	19,58%

Si on classe les variétés selon ce taux de diminution d'eau on aura le graphe suivant (figure 31) : On remarque que les variétés qui présentent le plus faible taux de réduction sont Fouara, Saïda183, Oued-righ, Rihane03 et Alanda, alors que les variétés Tichedrett, Soufara, Tissa, Bahia, Rahma, Acsad176 et Lagune ont marqué un taux moyen et le reste des variétés ont enregistré le taux de réduction le plus élevé (Plaisant, Jaïdor, Tina et Barberousse).

**Figure 31 : Classement des variétés selon le taux de réduction du TDE**

### 2.4.6. Perméabilité membranaire (Membrane permeability or electrolyte leakage)

D'après le tableau 48, la perméabilité membranaire a enregistré des différences très hautement significatives pour la salinité. Cependant on n'a pas enregistré des différences significatives ni entre les variétés ni pour l'interaction entre les deux facteurs (stress salin et variété).

**Tableau 48 : Analyse de la variance de la perméabilité membranaire**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Variété	15,00	1336,231	89,082	0,990	0,472	NS
Stress salin	2,00	8649,007	4324,504	48,070	< 0,0001	THS
Variété*stress salin	30,00	839,850	27,995	0,311	1,000	NS

THS : très hautement significative, NS : non significative

La figure 32 marque une grande variabilité pour la perméabilité membranaire chez les différentes variétés. Le point commun c'est l'augmentation du taux de perméabilité avec l'augmentation du stress salin. Les observations sont signalées par plusieurs auteurs (Mahmoudi *et al.*, 2011) ; (Altuntas, Akhoundnejad and Dasgan, 2018) ; (Mahlooji *et al.*, 2018) ; (Hniličková *et al.*, 2019). La fuite d'électrolyte a été utilisée pour évaluer la perméabilité membranaire, choisi comme indicateur de la capacité des membranes des cellules de maintenir l'intégrité et résister aux contraintes imposées (Kocheva and Georgiev, 2003). C'est pour cela que la fuite d'électrolyte des membranes plasmiques est signalée comme l'un des critères de sélection les plus importants pour l'identification des plantes tolérantes au stress salin (Ashraf and Ali, 2008).

Mains d'autres études ont montré que les valeurs élevées de fuite d'électrolyte ne peuvent pas être considérées comme un signe de membranes plasmiques endommagées en raison du stress, mais liées à une teneur élevée en potassium (Mansour and Salama, 2004). Pour nos résultats, aucune liaison n'est marquée entre le taux du potassium dans la partie aérienne et la perméabilité membranaire.

La perméabilité membranaire peut être aussi corrélée à plusieurs facteurs physiologiques ; le stress peut modifier la composition chimique et acides organiques (Bajji, Kinet and Lutts, 2002), et la structure physique des membranes plasmiques (Stevens, Senaratna and Sivasithamparam, 2006), entraînant des dommages oxydatifs chez les plantes (Chen *et al.*, 2013).

En classant les variétés selon le taux d'augmentation de la perméabilité membranaire (figure 33), on remarque que les variétés Rahma, Saïda183, Bahia, Fouara, Rihane03, Tichedrett, Oued-righ et Alanda ont enregistré le plus faible taux d'augmentation de la perméabilité membranaire donc sont plus tolérantes au stress salin.

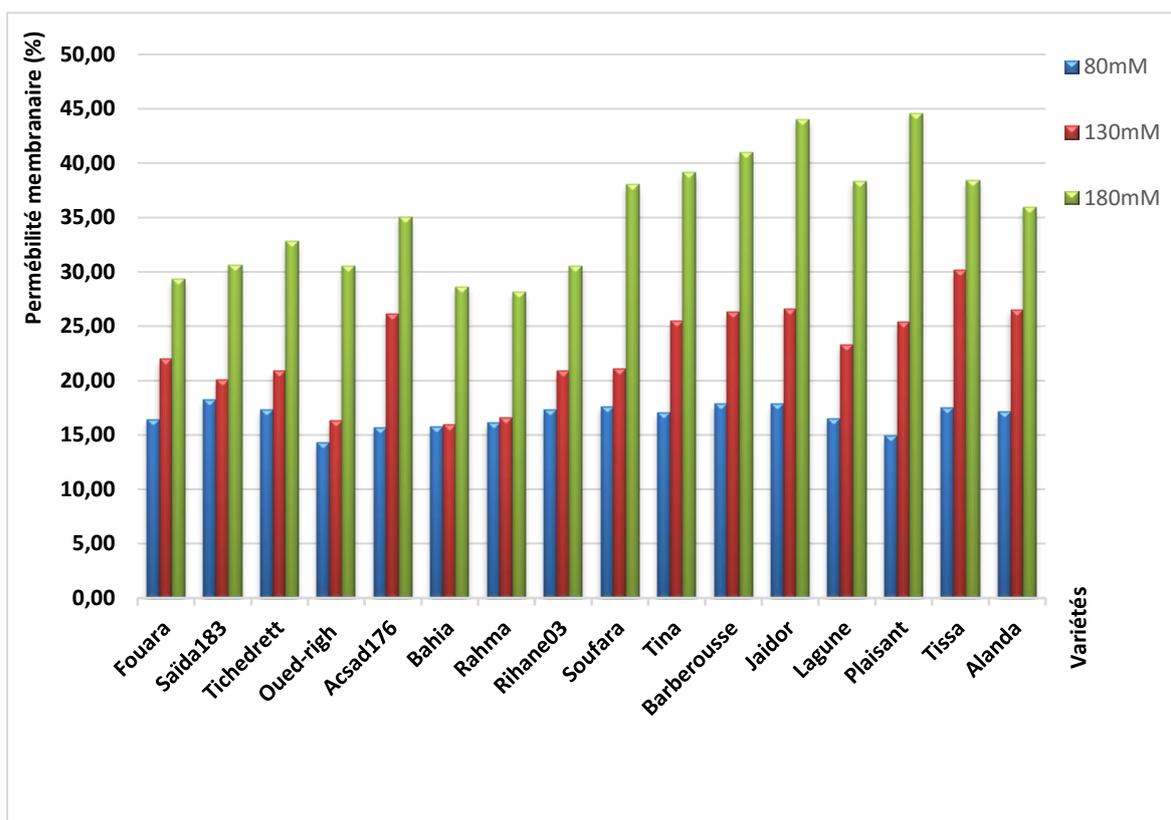


Figure 32 : Perméabilité membranaire (%)

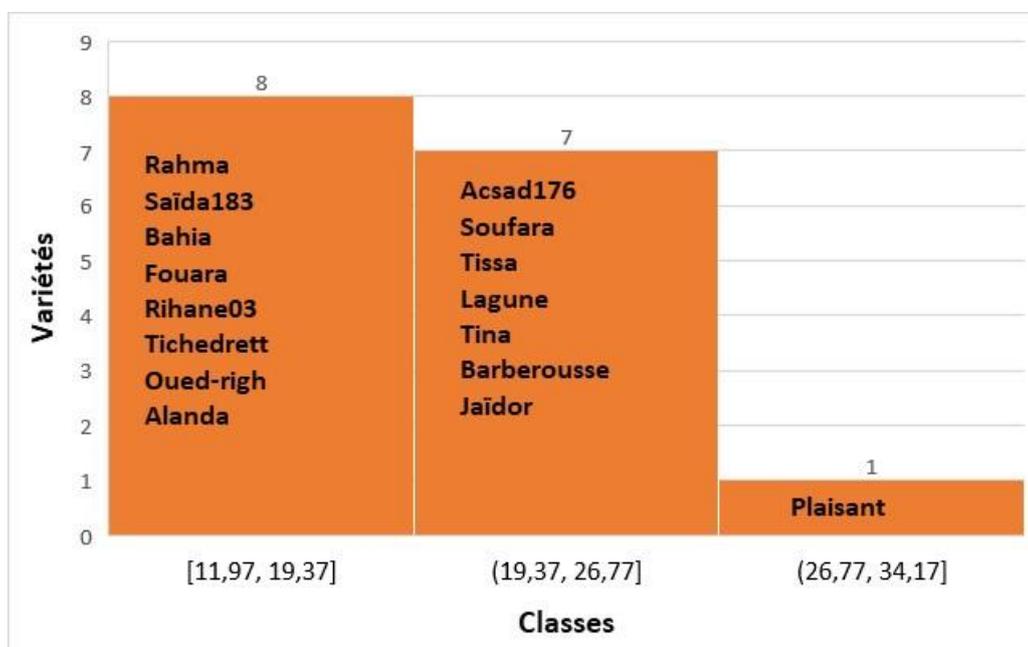


Figure 33 : Classement des variétés selon le taux d'augmentation de la perméabilité membranaire

## 2.5. Classification des variétés

Selon la classification des variétés (tableau 49), il ressort que les variétés Fouara, Oued-righ, Rihane03 et Saïda183 sont des variétés tolérantes ; les variétés Acsad176, Alanda, Bahia, Plaisant, Rahma, Soufara, Tichedrett, et Tissa sont des variétés moyennement tolérantes alors que les variétés Barberousse, Jaïdor, Lagune, et Tina sont des variétés peu tolérantes.

**Tableau 49 : Classification des variétés selon leur tolérance au stress salin**

Variété	Epiaison	Talles-épis	H. plante	SF	BAS	BRS	Proline	Total	Classe
Acsad176	10	4	2	3	3	2	2	<b>26</b>	MT
Alanda	10	3	2	6	3	3	2	<b>29</b>	MT
Bahia	9	5	2	3	3	2	3	<b>27</b>	MT
Barberousse	1	1	1	1	3	1	1	<b>9</b>	PT
Fouara	7	4	3	4	4	4	3	<b>29</b>	MT
Jaïdor	5	2	2	3	3	2	1	<b>18</b>	PT
Lagune	3	1	1	5	1	2	1	<b>14</b>	PT
Oued-righ	11	6	3	7	6	6	4	<b>43</b>	T
Plaisant	8	6	2	6	3	2	3	<b>30</b>	MT
Rahma	6	3	2	5	3	2	2	<b>23</b>	MT
Rihane03	9	4	3	9	5	5	3	<b>38</b>	T
Saïda183	5	5	3	9	4	5	3	<b>34</b>	T
Soufara	9	7	3	3	3	3	2	<b>30</b>	MT
Tichedrett	4	3	2	8	3	2	2	<b>24</b>	MT
Tina	2	3	2	2	2	2	2	<b>15</b>	PT
Tissa	5	5	2	3	3	2	3	<b>23</b>	MT

H. plante : hauteur des plantes ; SF : surface foliaire ; BAS : biomasse aérienne sèche ;

BRS : biomasse racinaire sèche ; T : tolérante ; MT : moyennement tolérante ; PT : peu tolérante

## CHAPITRE III :

Réponse de la culture d'orge

(*Hordeum vulgare* L.)

au stress salin dans la

région de Biskra

## Chapitre III : Réponse de la culture d'orge (*Hordeum vulgare* L.) au stress salin dans la région de Biskra

### 1. Matériel et méthodes

Cette expérimentation a comme objectif l'étude du comportement de seize variétés d'orge en plein champ irriguées avec une eau salée (5.3dS/m) en plus de la salinité du sol dans la région de Biskra.

#### 1.1. Région d'étude

L'expérimentation s'est déroulée au département des sciences agronomique de l'université de Biskra.

La wilaya est située au sud - est de l'Algérie aux portes du Sahara. Avec une altitude moyenne de 120 m au niveau de la mer, une latitude de 34°.52 N et une longitude de 5°.45. La wilaya de Biskra est limitée au nord par la wilaya de Batna, au nord-est par la wilaya de Khenchela, au nord-ouest par la wilaya de M'sila, au sud-ouest par la wilaya de Djelfa, au sud par El Oued.

#### 1.2. Synthèse climatique

La région de Biskra appartient selon le climagramme d'Emberger à l'étage bioclimatique saharien à hiver tempéré calculé sur une période de 2009 à 2018 (figure 34).

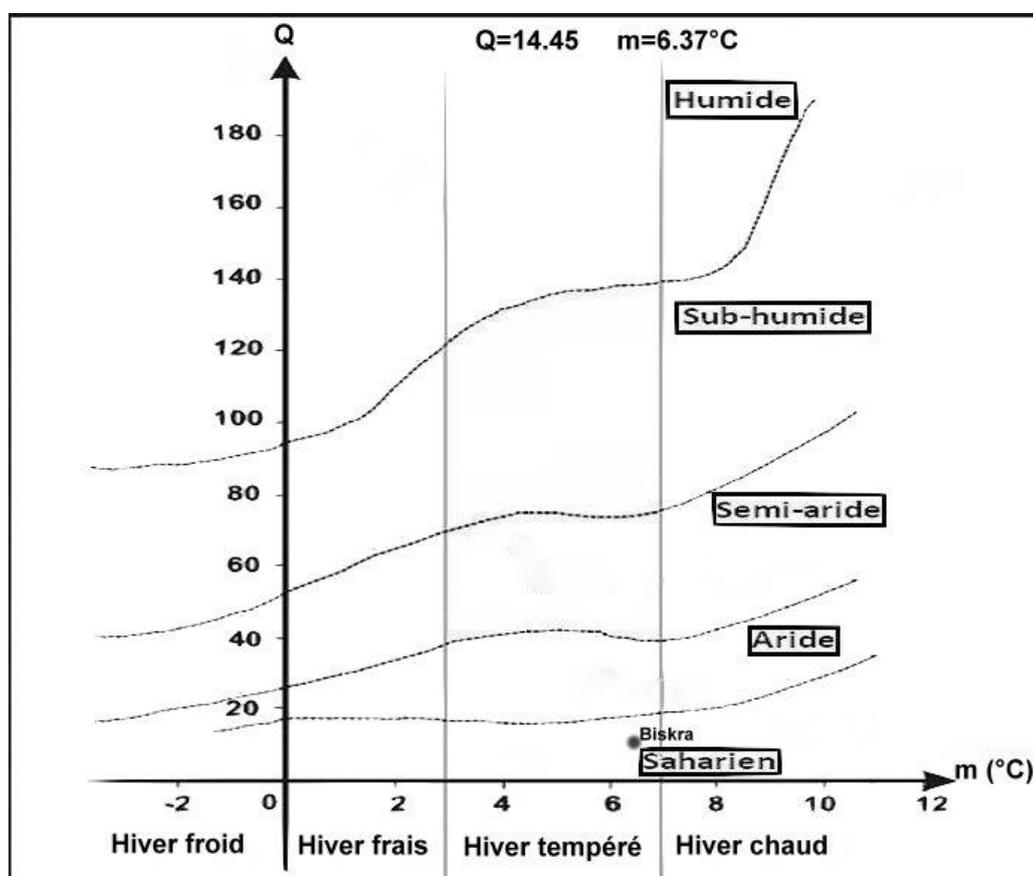


Figure 34 : Climagramme pluviothermique d'Emberger (2009-2018)

Globalement, la région de Biskra se localise à l'étage bioclimatique saharien à hiver tempéré. Cette région se caractérise par une période sèche durant toute l'année (figure 35).

Biskra est caractérisée par de faibles et irrégulières précipitations. Ces précipitations sont caractérisées par une moyenne annuelle de l'ordre de 150,76 mm (2009- 2018). Les précipitations mensuelles maximales sont enregistrées aux mois de mars (17.62 mm) et octobre (22.27 mm). Les mois les plus secs se situent entre juin et août.

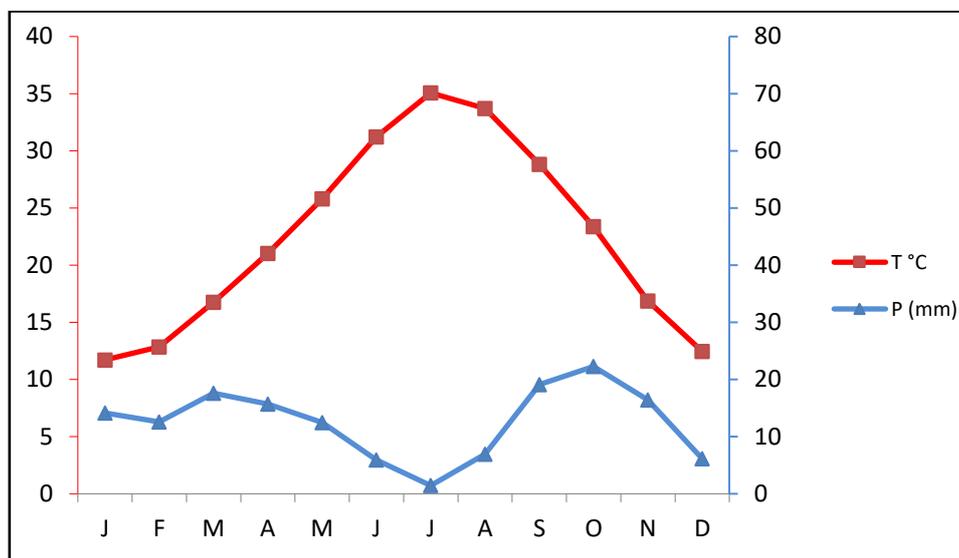


Figure 35 : Diagramme ombrothermique du Gaussen (2009-2018)

### 1.3. Sol

Les caractéristiques du sol du département où la culture d'orge est mise en place sont enregistrées dans le tableau suivant (tableau 50) :

Tableau 50 : Analyses physico-chimiques du sol du site expérimental

<b>Granulométrie (%) :</b>		
Limon grossier	22.52	
Limon fin	31.07	
Argile	25.66	
Sable fin	20.13	
Sable grossier	00.62	
<b>Texture : Limono-argileuse</b>		
Densité apparent (g/cm <sup>3</sup> )	1.4	
pH eau	7.92	Légèrement alcalin
CE 1/5(dS/m).	2.90	Salé
Matière organique (%)	0.73	Pauvre
Calcaire total (%)	38.15	Élevé
Calcaire actif (%)	12.20	Élevé
<b>Solution du sol :</b>		
Phosphore ass. (ppm)	120	Moyen
Potassium ass. (meq/l)	1.72	Moyen

Le sol est de type limono-argileux (Richards *et al.*, 1954), salé (Gros, 1979), d'un pH légèrement alcalin, calcaire (Baize, 2000), et très pauvre en matière organique. Les teneurs en phosphore et potassium sont moyennes selon les normes COMIFER (Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée) (Denoroy, Jordan-Meille and Sagot, 2019).

#### 1.4. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de 16 variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) ; une variété population locale ; Oued-righ et quinze variétés : Acsad<sub>176</sub>, Alanda, Bahia, Barberousse, Fouara, Jaidor, Lagune, Plaisant, Rahma, Rihane<sub>03</sub>, Saïda<sub>183</sub>, Soufara, Tichedrett, Tissa et Tina (tableau 51).

**Tableau 51 : Géotypes d'orge étudiés**

Géotype	Origine	Type
Acsad <sub>176</sub>	Acsad-sél- ITGC Sidi Bel Abbés	6 rangs
Alanda	ICARDA	6 rangs
Bahia	ICARDA-sél-ITGC Sétif	6 rangs
Barberousse	France	6 rangs
Fouara	ICARDA-sél-ITGC Sétif	6 rangs
Jaidor	INRA Montpellier- sél- ITGC Constantine	6 rangs
Lagune	France	6 rangs
Oued-righ	Algérie	6 rangs
Plaisant	France	6 rangs
Rahma	ICARDA-sél-ITGC Sétif	2 rangs
Rihane <sub>03</sub>	Acsad-sél- ITGC Sidi Bel Abbés	6 rangs
Saïda <sub>183</sub>	Algérie	6 rangs
Soufara	ICARDA-sél-ITGC Sétif	2 rangs
Tichedrett	Algérie	6 rangs
Tina	Espagne	6 rangs
Tissa	Maroc	2 rangs

#### 1.5. Eau d'irrigation

L'eau d'irrigation est caractérisée par un pH de 7.49 et d'une conductivité de 5.3dS/m (salée). La méthode d'irrigation utilisée est celle en submersion pour favoriser le lessivage des sels.

#### 1.6. Méthodes

##### 1.6.1. Lieu de l'expérimentation

L'expérimentation s'est déroulée au département des sciences agronomiques de l'université de Biskra. L'essai a été réalisée durant la campagne 2017-2018.

### 1.6.2. Dispositif expérimental

L'expérimentation est menée selon un dispositif en randomisation totale avec 16 variétés d'orge et 3 répétitions. Donc au total 48 parcelles de 4m<sup>2</sup> pour chaque parcelle avec une distance entre les parcelles de 0.5m (figures 36 et 37).



**Variétés** : Fou : Fouara, Saï : Saïda<sub>183</sub>, Tich : Tichedrett, O-R : Oued-Righ, Bah : Bahia, Acs : Acsad176 Rah : Rahma Rih : Rihane03  
Sou : Soufara, Tin : Tina, Bar : Barberousse, Jai : Jaidor, Lag : Lagune, Pla : Plaisant, Tis : Tissa Ala : Alanda

**Figure 36 : Schéma du dispositif expérimental**

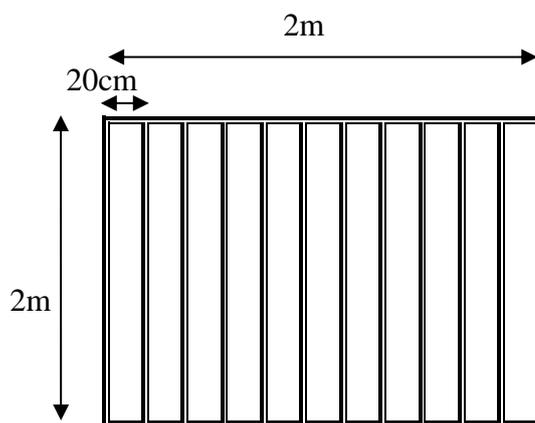


Figure 37 : Schéma de la parcelle élémentaire

### 1.6.3. Opérations culturales

Les opérations culturales sont mentionnées dans le tableau suivant (tableau 52) :

**Tableau 52 : Opérations culturales**

Opérations	Date
Labour (Préparation des parcelles)	05/11/2017
Fumure de fond (TSP et sulfate potassium)	08/11/2017
Semis (Semis manuel en ligne)	12/11/2017
Fertilisation azotée (Au stade tallage et stade épi 1cm)	En 2 apports
Désherbage (Manuelle)	Chaque fois si nécessaire
Irrigation (Selon l'état de sol)	Chaque 10-15 jours
Récolte (Réalisée manuellement sur 1m <sup>2</sup> )	A partir du 09/04/2018

Le semis est réalisé le 12-11-2017 après un labour et un apport de la fumure de fond (80kg de TSP et 100 kg de sulfate de potassium). La distance entre les lignes de semis est de 20cm, 5 lignes dans chaque parcelle (figure 37). La dose de semis est de 120kg/ha, c'est-à-dire 48g/4m<sup>2</sup>, à une profondeur de 3cm. La fertilisation azotée est fractionnée en deux apports de 60 kg d'urée pour chacun, au stade tallage et au stade épi 1cm.

### 1.6.3. Paramètres mesurés

#### 1.6.3.1. Mesures de la croissance

- **Durée de différentes phases de développement de la plante**

- **Date de levée**

La date de levée correspond à 90% de plantes levée en moyenne.

- **Date de stade 3 feuilles**

Ce stade est atteint quand 90% des plantes laissent apparaître la troisième feuille.

➤ **Date de début de tallage**

On considère que le début tallage est atteint quand la moitié des plantes laissent apparaître la première talle

➤ **Date de début montaison (épi à 1cm)**

On prélève 10 maître-brins (tige principale) au hasard, on coupe les racines à la base du plateau de tallage.

On coupe les tiges par une lame de rasoir au sens de la longueur à partir du plateau de tallage.

On mesure en mm, la distance qui sépare la base du plateau du tallage jusqu'au sommet de l'épi (jeune épi). Si cette distance égale 10mm on est au stade épi 1cm (50% des tiges).

➤ **Date d'épiaison**

Elle est atteinte quand 50% des tiges ont leur épi dégagé de la gaine.

➤ **Date de floraison**

C'est la date de l'apparition des anthères (organes mâles) hors des glumelles.

➤ **Date de maturité**

La date de maturité est caractérisée par un jaunissement total de la végétation.

• **Durée de remplissage**

C'est la différence entre la date d'épiaison et la date de maturité (en nombre de jours)

• **Durée de cycle végétatif**

C'est la différence entre la date de semis et la date de récolte (en nombre de jours).

• **Nombre de talles par plant (talle herbacées)**

Ce paramètre est déterminé en comptant le nombre de talle par plant (10 plantes) pour chaque parcelle.

• **Nombre de talle épi**

Le comptage des talles en stade de floraison. Ce comptage est effectué sur 10 plantes de chaque parcelle.

• **Rapport tallage épi / tallage herbacé**

Ce rapport est calculé par la division du nombre de talles épis sur le nombre de talles herbacées, pour chaque variété.

### 1.6.3.2. Caractères morphologiques

- **Hauteur des plantes à la maturité (longueur de la tige)**

A partir d'un lot de plantes pris au hasard sur chaque parcelle élémentaire, on mesure la longueur des plantes à partir de la base des tiges jusqu'au sommet des épis (sans barbes), 10 mesures ont été réalisées sur chaque parcelle.

- **Surface de la feuille étendard**

- La surface foliaire est déterminée par la méthode Paul, Planchton, and Ecochard (1979) qui consiste à :

Pour chaque parcelle élémentaire, on mesure la surface de la feuille étendard pour 5 plantes, en phase d'épiaison.

On dessine la forme de ces feuilles sur un papier blanc puis on coupe le dessin en forme de feuilles et on pèse le papier coupé à l'aide d'une balance de précision (Pf). On pèse aussi un carrée (Pp) dessiné sur le même papier d'une dimension de 25cm<sup>2</sup> (5cm X 5cm = Sp), et on détermine la surface foliaire par la formule suivante :

$$SF = (Pf \times Sp) / Pp$$

SF : surface foliaire

Pf : poids du papier en forme la feuille de la plante

Sp : surface du carrée en papier (25 cm<sup>2</sup>)

Pp : poids de la surface du carrée en papier Sp

- **Longueur d'épi**

Pour chaque parcelle élémentaire, on mesure la longueur de 10 épis pris au hasard (sans barbe).

- **Longueur de la barbe**

Pour chaque parcelle élémentaire, on mesure aussi la longueur de la barbe des épis (les mêmes épis utilisés pour la mesure de la longueur des épis).

### 1.6.3.4. Composantes du rendement

Les épis sont récoltés dans des sachets, puis on fauche la parcelle élémentaire de 1m<sup>2</sup> sur une hauteur des tiges de 15 cm du sol. Les paramètres mesurés sont les suivants :

- **Nombre d'épis au mètre carré**

Après la récolte et pour chaque parcelle de 1m<sup>2</sup>, on compte le nombre d'épis.

- **Nombre de grains par épi**

On prend 10 épis de chaque parcelle de 1m<sup>2</sup> et on compte le nombre de grains par épi.

- **Poids de 1000 grains (PMG)**

Obtenu en pesant 250 grains par parcelle puis on multiplie par 4 pour obtenir le poids de 1000 grains.

- **Biomasse aérienne**

Obtenu par pesage des épis et le produit de la fauche de chaque parcelle de 1m<sup>2</sup>

- **Rendement en paille**

C'est le poids de la biomasse aérienne moins le poids des grains d'un m<sup>2</sup>, puis exprimé en qx/ha.

- **Rendement théorique en grains**

Déterminé par ses composantes, par la formule

$$RDT = NE * NGE * Pmg$$

Où NE : nombre d'épis/m<sup>2</sup>

NGE : nombre de grain/ épis

Pmg : poids moyen d'un grain = poids de 1000 grains/1000

- **Rendement réel (machine) en grains**

IL est déterminé pour chaque parcelle de 1m<sup>2</sup> en g/m<sup>2</sup>, puis exprimé en qx/ha.

- **Indice de récolte**

Il est calculé par le rapport de rendement en grains sur la biomasse mesurée à la maturité.

#### 1.6.4. Outil statistique

L'analyse de la variance a été effectuée à l'aide du logiciel XLSTAT. La comparaison des moyennes a été faite selon le test de Student – Newman – Keuls au seuil de probabilité de 5%.

La classification des variétés se fait en donnant des points aux variétés pour chaque paramètre selon les groupes homogènes. En commençant par le dernier groupe qui aura un point le groupe précédent deux points et ainsi de suite jusqu'au premier groupe qui aura le maximum de points. A la fin la somme des points est obtenue pour chaque variété pour tous les paramètres choisis. La variété qui a obtenu le maximum de points c'est la variété la plus tolérante au stress salin.

## 2. Résultats et discussion

### 2.1. Durée de différentes phases de développement des plantes

#### 2.1.1. Phase semis-levée

La durée de cette phase paraît varier en fonction de la variété, c'est à partir du 20 novembre que le début de levée a été observée chez les variétés Rahma, Jaïdor et Lagune, soit 8 jours après le semis, puis se classent les variétés d'une durée de 9 jours (5 variétés) et enfin la durée de 10 jours qui caractérisent 8 variétés (Figure 38). La levée c'est le stade qui contrôle la densité du peuplement. Cette dernière joue un rôle important au rendement.

A cette phase, les plantes sont très sensibles au froid.

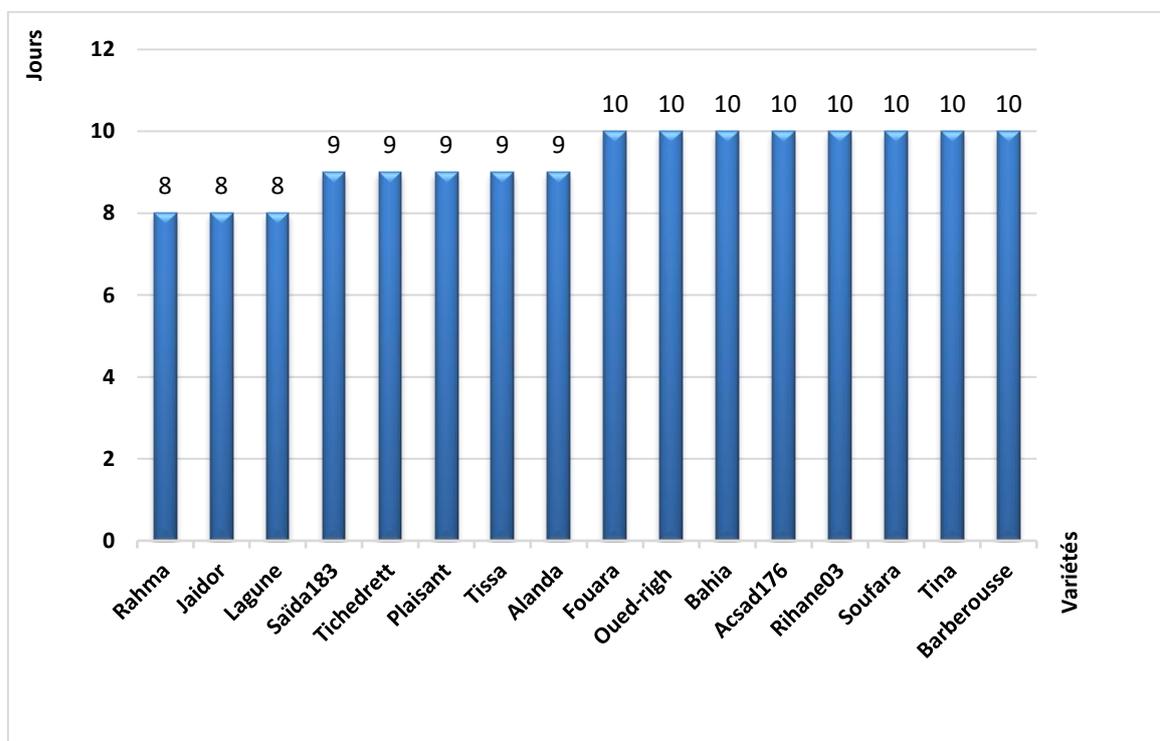


Figure 38 : Durée de la phase semis-levée (jours)

#### 2.1.2. Phase levée-3 feuilles

Les résultats montrent que les variétés les plus précoces au stade 3 feuilles sont ; Acsad, Soufara et Tissa avec une durée de 12 jours après la levée (04.12.2017), suivie par les variétés Saïda, Bahia, Rahma, Rihane, Plaisant et Alanda avec une durée de 13 jours. Les variétés qui restent ont marqué une durée entre 15 et 16 jours (Figure 39).

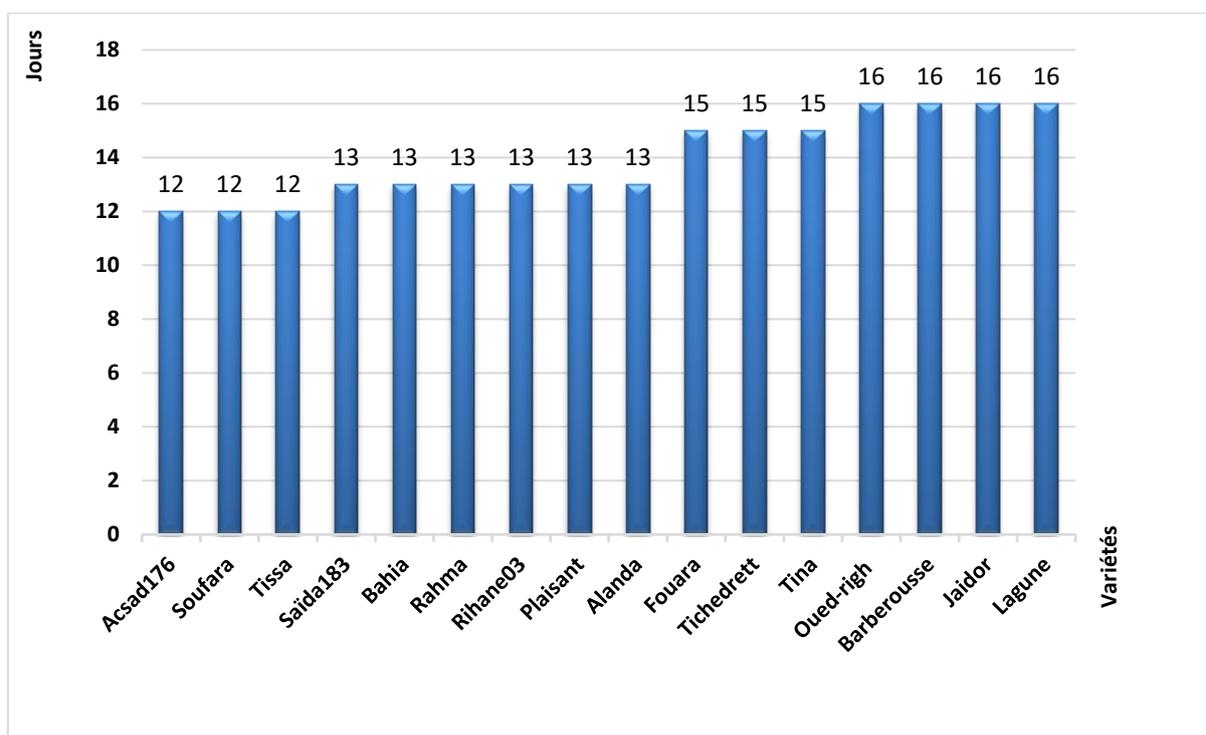


Figure 39 : Durée de la phase levée-trois feuilles (jours)

### 2.1.3. Phase 3 feuilles-tallage

Le stade début tallage est atteint en premier lieu chez les variété Soufara, Fouara et Tina (20.12.2017), avec une durée de 13 jours (après le stade 3 feuilles), suivies par les variétés Saïda, Bahia, Rahma, Rihane, Tissa et Alanda avec une durée de 14 jours. Les variétés tardives sont Jaidor, Tichedrett, Oued-Righ (18 jours) et enfin la variété la plus tardive, Barberousse avec 19 jours (Figure 40).

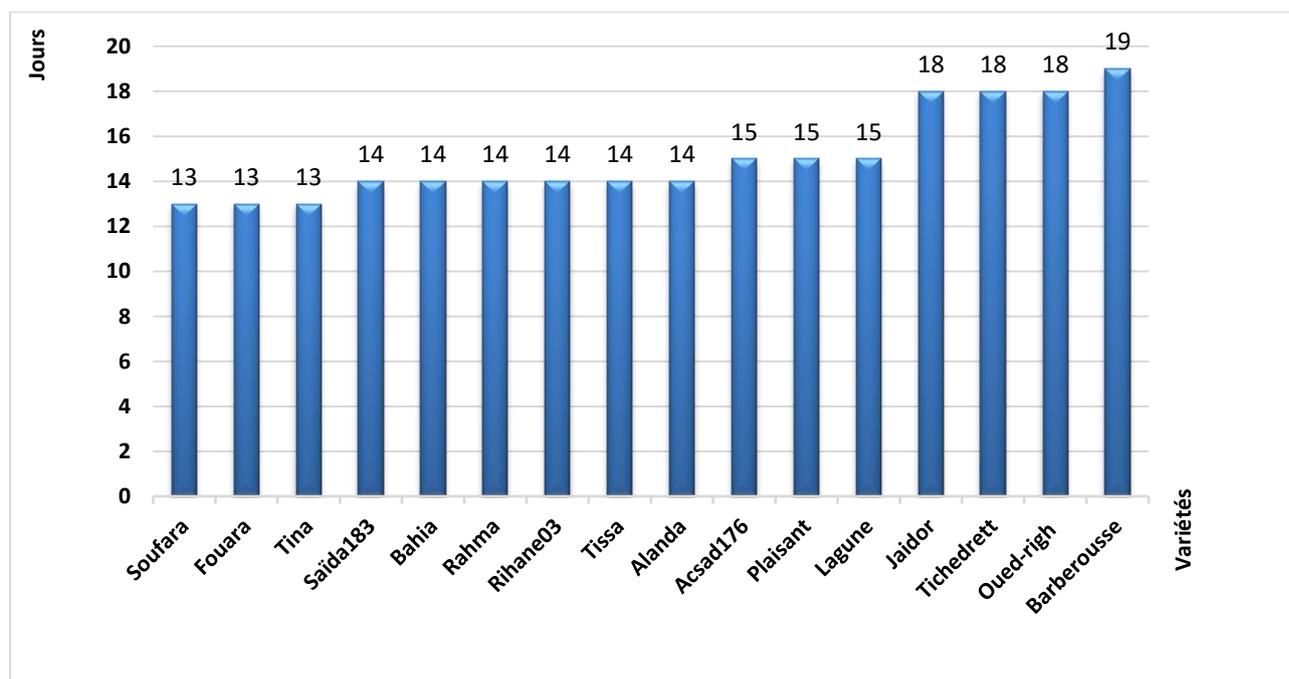


Figure 40 : Durée de la phase trois feuilles-tallage (jours)

### 2.1.4. Phase tallage-montaison

Également pour la phase tallage-montaison, une grande variabilité est constatée chez les variétés étudiées. Elle est échelonnée entre 9 et 14 jours.

Les variétés les plus précoces à la montaison sont Tichedrett, Plaisant et Alanda avec une durée de 9 jours après le tallage (28.12.2017). Les variétés Rahma, Tina, Barberousse et Jaïdor ont marqué la durée la plus longue avec 14 jours (Figure 41).

Cette phase se caractérise par l'élongation et consomme une grande quantité d'azote.

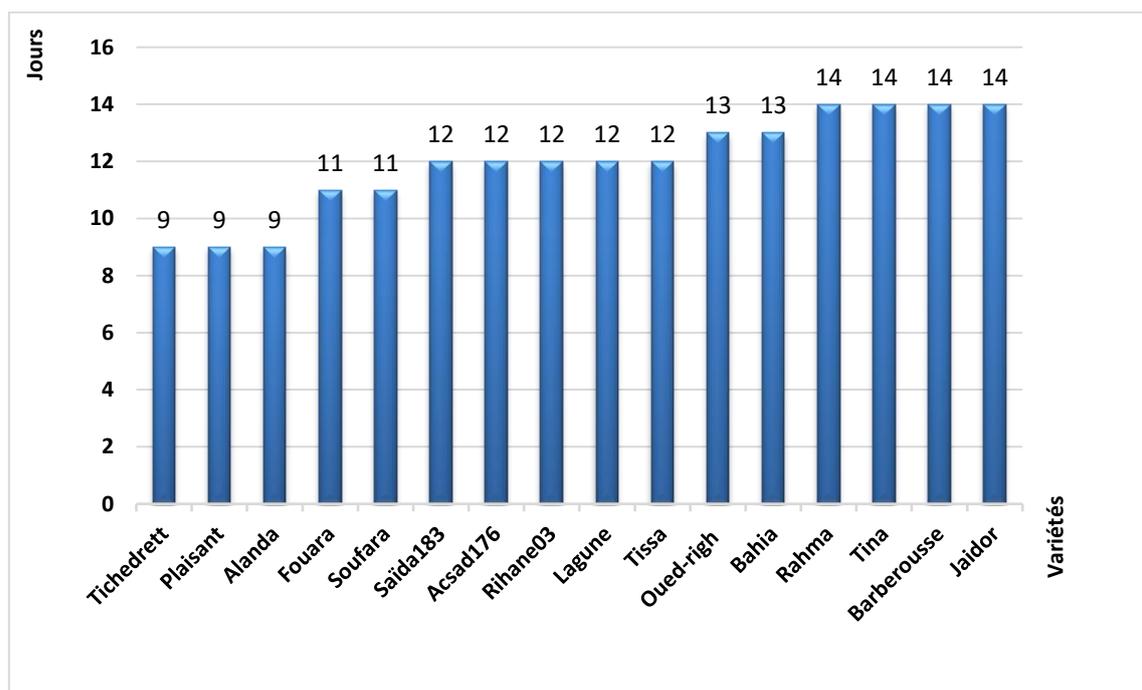


Figure 41 : Durée de la phase tallage-montaison (jours)

### 2.1.5. Phase montaison-épiaison

Les résultats montrent que cette phase est échelonnée entre 64 et 68 jours (figure 42). La variété la plus précoce à l'épiaison est Rahma (64 jours), suivie par Saïda, Oued-righ, Bahia, Acsad, Soufara et Alanda (66 jours). Alors que les variétés les plus tardives sont Fouara, Tichedrett, Tina, Barberousse, Jaïdor et Lagune qui ont marqués une durée entre 68 jours.

L'utilité de la sélection sur la base de la précocité à l'épiaison, se justifié par un cycle de développement de la plante qui lui permet d'éviter certaines contraintes climatiques telles que les températures élevées (Bouzerzour and Benmahammed, 1993).

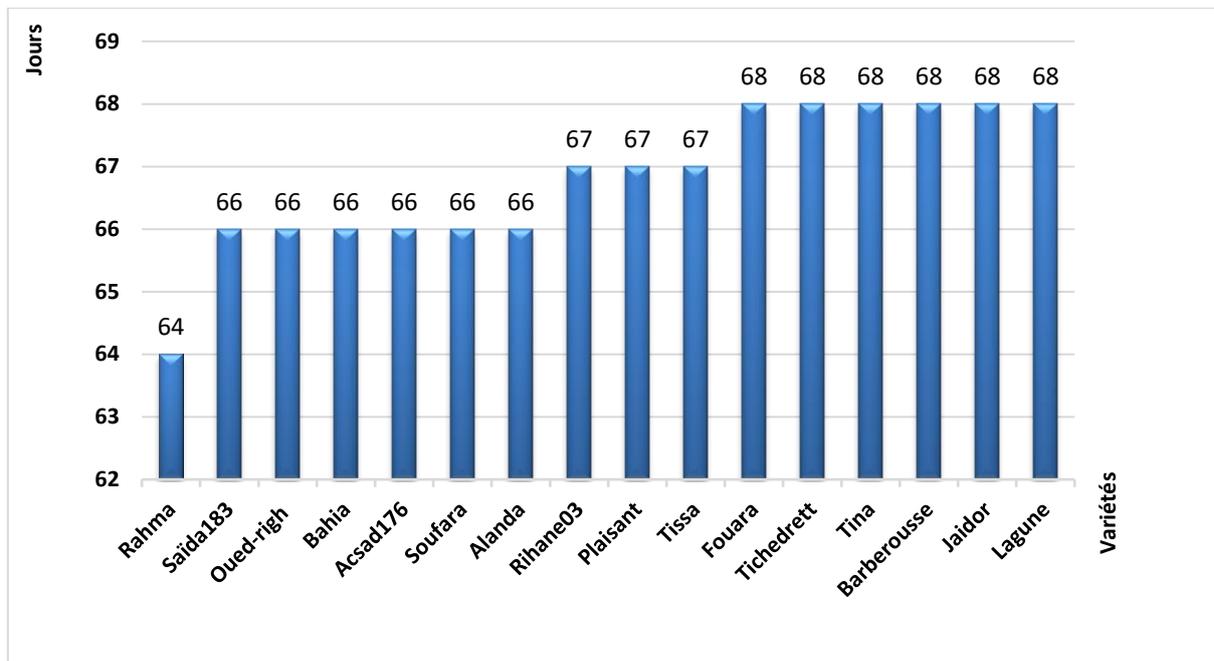


Figure 42: Durée de la phase montaison-épiaison (jours)

#### 2.1.6. Phase épiaison-maturité

La durée de cette phase est entre 34 jours chez les variétés Saïda, Oued-Righ, Rihane et Tissa, et une durée de 38 jours chez les variétés Tichedrett, Bahia, Barberousse, Jaïdor et Lagune (Figure 43).

Cette phase est très sensible aux fortes chaleurs surtout durant le remplissage du grain et consomment de grandes quantités de nutriments.

En effet, cette phase correspond à l'accumulation des hydrates de carbone et de l'azote dans le grain (Gallais and Bannerot, 1992). Durant Cette phase se forme l'une des principales composantes du rendement, qui est le poids de 1000 grains (Robert, Gate and Couvreur, 1993).

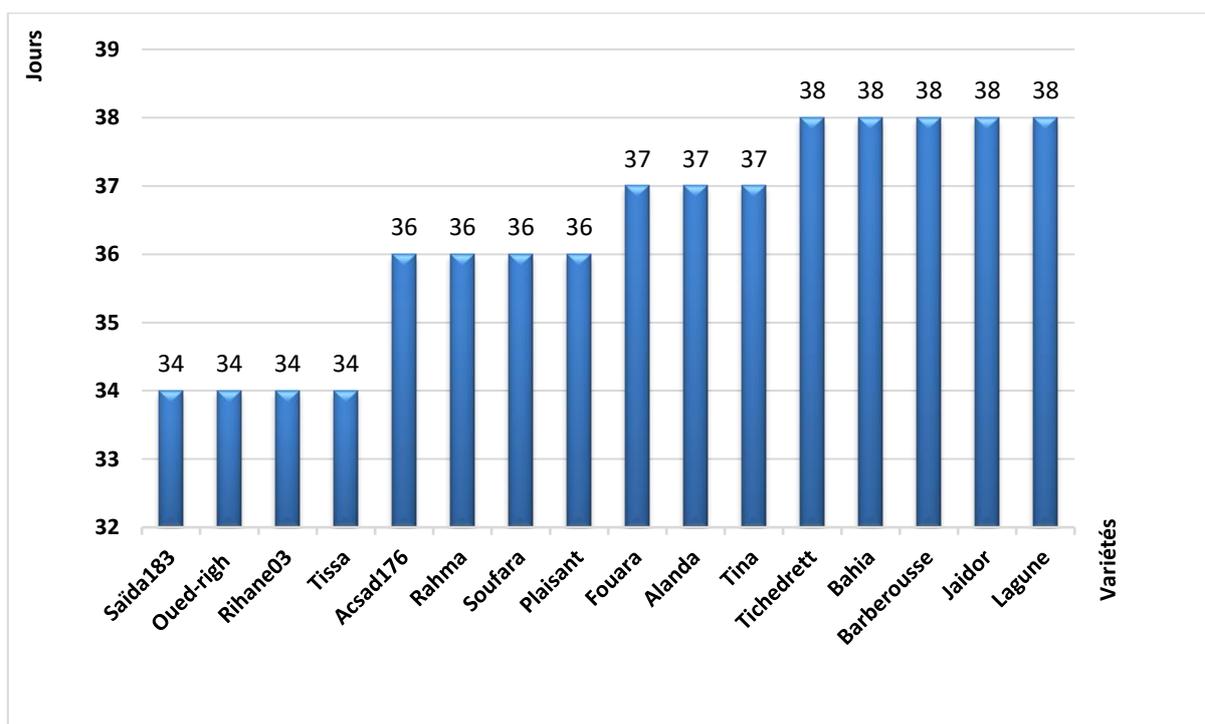


Figure 43: Durée de la phase épiaison-maturité (jours)

### 2.1.7. Date de récolte (maturité)

La date de récolte est échelonnée selon les variétés, a commencé le 09/04/2018 pour les variétés Saïda, Soufara, Tissa et Alanda, suivies par les variétés Rahma et Plaisant le 10/04/2018. Cependant les variétés Jaïdor et Barberousse ont enregistré les dates les plus tardive avec respectivement le 23/04/2018 et le 26/04/2018 (figure 44).

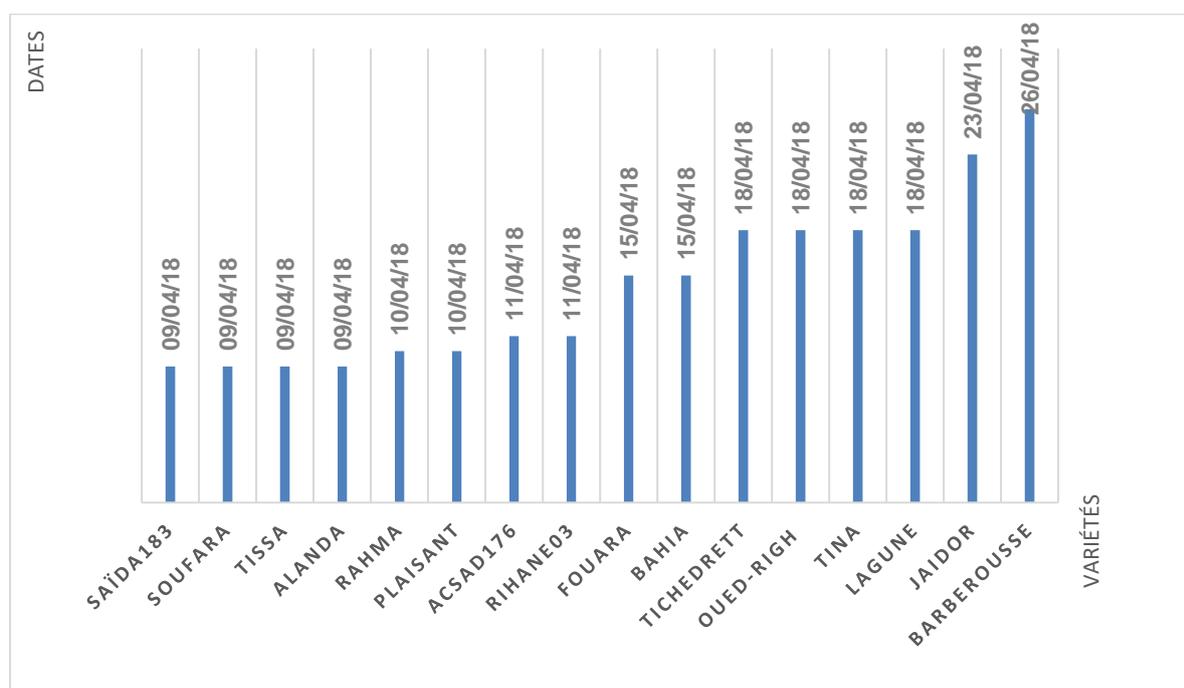


Figure 44: Dates de récolte selon les variétés

### 2.1.8. Durée du cycle végétatif

D'après les résultats la durée du cycle végétatif est très variable chez variétés testées, elle oscille entre 148 et 165. Les variétés les plus précoces ont marqué une durée de 148 jours (Saïda, Soufara, Tissa et Alanda). Ces variétés précoces sont suivies par les variétés Rahma et Plaisant avec 149 jours. Les variétés la plus tardives sont Jaïdor et Barberousse avec respectivement 162 jours et 165 jours. (Figure 45).

En zones à forte chaleur estivale, il est conseillé de choisir les variétés les plus précoces pour éviter l'échaudage des grains durant leur remplissage.

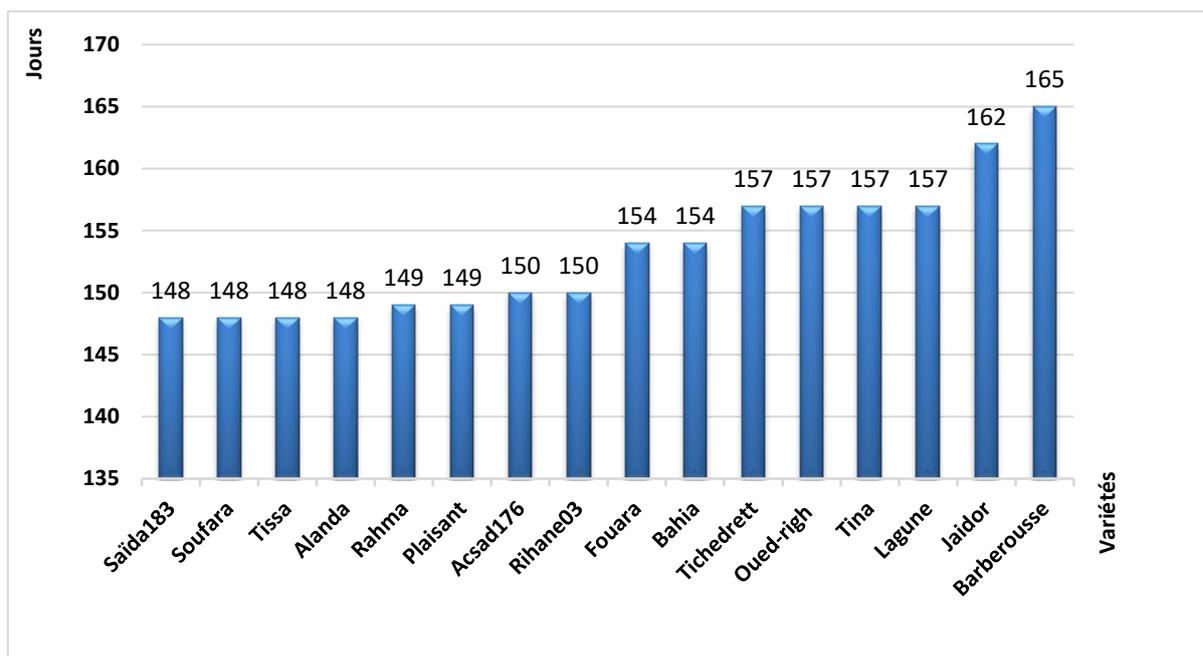


Figure 45: Durée du cycle végétatif (jours)

## 2.2. Caractéristiques morphologiques

### 2.2.1. Talles herbacées

D'après l'analyse statistique, on remarque une différence très hautement significatives (tableau 53), où le test de Newman et Keuls à 5%, fait sortir cinq groupes homogènes ; la variété Soufara a marqué le nombre de talles herbacées le plus élevé (4.55 talles/plante), suivie par les variétés Saïda, Tissa, Acsad. Par contre les variétés Fouara et Berberousse ont marqué le nombre de talles herbacées le plus bas (2,97 et 2.95 talles/plante) (tableau 54).

Tableau 53 : Analyse de variance (nombre de talles herbacées par plante)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété	15	9,818	0,655	4,339	< 0,0001

**Tableau 54 : Groupes homogènes (nombre de talles herbacées par plante)**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes		
Soufara	4,55	A		
Saïda183	4,20	A	B	
Tissa	4,10	A	B	
Acsad176	4,00	A	B	
Rahma	3,80	A	B	C
Tichedrett	3,78	A	B	C
Tina	3,78	A	B	C
Oued-righ	3,75	A	B	C
Plaisant	3,75	A	B	C
Rihane03	3,75	A	B	C
Bahia	3,60		B	C
Alanda	3,53		B	C
Jaidor	3,50		B	C
Lagune	3,50		B	C
Fouara	2,98			C
Barberousse	2,95			C

Certaines études, ont montré que les variétés à deux rangs tallent plus que celles à six rangs (Khaloun, 1989). C'est ce qu'on a aussi remarqué que les variétés à deux rangs (Soufara, Tissa et Rahma) sont classées parmi les variétés qui ont produit plus de talles herbacées.

### 2.2.2. Talles-épis

Le nombre des talles-épis/plante a marqué une différence très hautement significative (tableau 55). Le classement des variétés (tableau 56), montre que les variétés Soufara, Rahma, Saïda, Tissa et Oued-Righ, ont enregistré le nombre le plus élevé en talles-épis/plante. Alors que les variétés Barberousse et Lagune ont enregistré le nombre de talles-épis/plante le plus bas.

Il est clair que d'après ces résultats qu'en général, les orges à deux rangs produisent plus de talles-épis que les orges à six rangs, ce qui est prouvé par d'autres travaux (Gouis, 1992) (Bensemmane *et al.*, 2011) (Charles *et al.*, 2012).

**Tableau 55 : Analyse de variance (nombre de talles-épis par plante)**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété	15	7,458	0,497	12,429	< 0,0001

**Tableau 56 : Groupes homogènes (nombre de talles-épis par plante)**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes						
Soufara	2,53	A						
Rahma	2,35	A B						
Saïda183	2,30	A B C						
Tissa	2,30	A B C						
Oued-righ	2,25	A B C						
Acsad176	2,10	B C D						
Bahia	1,98	B C D E						
Rihane03	1,95	B C D E						
Alanda	1,90	C D E F						
Tichedrett	1,83	D E F G						
Plaisant	1,80	D E F G						
Tina	1,75	D E F G						
Fouara	1,55	E F G						
Jaidor	1,50	F G						
Barberousse	1,43	G						
Lagune	1,40	G						

### 2.2.3. Ratio talles-épi/ talle herbacé (T.E/T.H)

Le ratio talle-épi/ talle-herbacée exprime la capacité de la plante à produire des épis, en général, la moyenne de ce ratio est de 53% pour les variétés testées. La plupart des variétés qui ont marqué un ratio TE/TH sont des variétés à deux rangs sauf pour Oued-righ. Ceci coïncident avec les résultats obtenus par une étude (Charles *et al.*, 2012) (tableau 57).

**Tableau 57 : Ratio talles-épi/talles herbacés (TE/TH)**

Modalité	Moyennes TH	Moyenne-TE	TE/TH
Rahma	3,80	2,35	61,84%
Oued-righ	3,75	2,25	60,00%
Tissa	4,10	2,30	56,10%
Soufara	4,55	2,53	55,49%
Bahia	3,60	1,98	54,86%
Saïda183	4,20	2,30	54,76%
Alanda	3,53	1,90	53,90%
Acsad176	4,00	2,10	52,50%
Fouara	2,98	1,55	52,10%
Rihane03	3,75	1,95	52,00%
Tichedrett	3,78	1,83	48,34%
Barberousse	2,95	1,43	48,31%
Plaisant	3,75	1,80	48,00%
Tina	3,78	1,75	46,36%
Jaidor	3,50	1,50	42,86%
Lagune	3,50	1,40	40,00%

### 2.2.4. Hauteur des plantes

D'après l'analyse statistique (tableau 58), on remarque une différence très hautement significative entre les moyennes de la hauteur des plantes. Le test de Newman et Keuls à 5%, fait sortir plusieurs groupes homogènes où les variétés Acsad, Tina Oued-righ et Saïda ont marqué la plus grande hauteur entre 84.58 et 89.73cm. Par contre les variétés Bahia, Lagune et Jaïdor ont marqué la plus faible hauteur avec des valeurs de 59.98, 57.57 et 56.89cm (tableau 59).

Selon Bouzerzour et al. (1998), une sélection pour une forte biomasse aérienne, conduit à une augmentation de la hauteur de paille. Cette augmentation est un signe de tolérance à la sécheresse (Al-Hakimi, Monneveux and Galiba, 1995).

Malgré que la hauteur de la paille soit très recherché par les agriculteurs à raison de son utilisation à l'alimentation animale, elle peut diminuer l'indice de récolte et donc le rendement en grains (Berger and Planchon, 1990).

**Tableau 58 : Analyse de variance (hauteur des plantes en cm)**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété	15	7102,875	473,525	21,259	< 0,0001

**Tableau 59: Groupes homogènes (hauteur des plantes en cm)**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes						
Acsad176	89,73	A						
Tina	88,55	A B						
Oued-righ	85,83	A B C						
Saïda183	84,58	A B C D						
Plaisant	81,23	A B C D E						
Soufara	79,58	B C D E						
Fouara	78,50	C D E						
Tissa	75,73	D E F						
Tichedrett	73,45	E F G						
Rihane03	72,77	E F G						
Barberousse	67,93	F G H						
Rahma	65,51	G H I						
Alanda	64,60	G H I						
Bahia	59,98	H I						
Lagune	57,57	I						
Jaidor	56,89	I						

### 2.2.5. Surface foliaire

L'analyse de variance montre des différences très hautement significatives entre les variétés pour la surface foliaire (tableau 60) avec plusieurs groupes homogènes et (tableau 61). L'écart entre les variétés est très important.

La plus grande surface foliaire a été enregistrée chez les variétés Saïda (12.66cm<sup>2</sup>) suivie par les variétés Fouara (,79cm<sup>2</sup>), Barberousse (10.96cm<sup>2</sup>), Tina (10.39cm<sup>2</sup>). Cependant la plus faible surface foliaire a été enregistrée chez la variété Rahma, Bahia, Jaïdor et Lagune (7.53cm<sup>2</sup> à 7.20cm<sup>2</sup>).

**Tableau 60 : Analyse de variance (surface foliaire en cm<sup>2</sup>)**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété	15	160,408	10,694	15,155	< 0,0001

**Tableau 61: Groupes homogènes (surface foliaire en cm<sup>2</sup>)**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes			
Saïda183	12,66	A			
Fouara	11,79	A	B		
Barberousse	10,96		B	C	
Tina	10,39		B	C	D
Acsad176	9,78			C	D
Plaisant	9,72			C	D
Rihane03	8,92				D E
Soufara	8,91				D E
Alanda	8,78				D E
Tissa	8,78				D E
Tichedrett	8,72				D E
Oued-righ	7,89				E
Rahma	7,53				E
Bahia	7,41				E
Jaidor	7,22				E
Lagune	7,20				E

D'après ces résultats, on note une surface foliaire réduite chez les orges à deux rangs qui a été associé à une production importantes en talles herbacées et talles épis (Berdahl, Rasmusson and Moss, 1972). Une surface foliaire importante se traduit par une perte d'eau importante aussi (Kirkham *et al.*, 1980). La réduction de la surface foliaire peut contribuer à la conservation des ressources en eau, et ainsi la survie des plantes (Lebon *et al.*, 2004). Un autre phénomène permet aux plantes de résister aux conditions extrêmes c'est l'enroulement des feuilles ce qui diminue les pertes d'eau par transpiration (O'Toole and Cruz, 1980).

### 2.2.6. Longueur d'épi

L'examen des moyennes des longueurs des épis des variétés ayant servi à notre expérimentation montre des différences très hautement significative (tableau 62). On note que les variétés Soufara, Tissa et Rahma se classent en première position avec une longueur d'épi de 8.19, 7.73 et 6.28cm respectivement (tableau 63). Ces variétés sont des orges à deux rangs où leur longueur d'épi

dépasse celui des autres orges à six rangs, suivies par les variétés Oued-righ, Fouara, Alanda, Acsad, Saïda. Quant aux variétés Jaïdor et Tichedrett ont marqué une faible longueur d'épi (4,93 et 4,51cm).

L'épi joue un rôle important à la photosynthèse et la production d'assimilats nécessaires au remplissage du grain avec la dernière feuille (Sanchez-Bragado *et al.*, 2014). En effet, l'une des techniques de sélection proposées pour augmenter le potentiel de rendement et améliorer l'adaptation à l'incidence croissante des stress abiotiques consiste à sélectionner des céréales où leur épi participe de plus à la photosynthèse (Araus *et al.*, 2008).

La longueur d'épi est un caractère variétal peu influencé par le milieu (Jonard, 1964)

**Tableau 62 : Analyse de variance (longueur d'épi en cm)**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété	15	57,370	3,825	31,591	< 0,0001

**Tableau 63: Groupes homogènes (longueur d'épi en cm)**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes			
Soufara	8,19	A			
Tissa	7,73	A			
Rahma	6,28	B			
Oued-righ	6,13	B			
Fouara	6,08	B			
Alanda	6,05	B			
Acsad176	6,04	B			
Saïda183	6,01	B			
Rihane03	5,70	B	C		
Plaisant	5,36		C	D	
Tina	5,26		C	D	
Barberousse	5,15		C	D	E
Lagune	5,13		C	D	E
Bahia	5,05		C	D	E
Jaidor	4,93			D	E
Tichedrett	4,51				E

### 2.2.7. Longueur de la barbe

L'analyse de la variance nous a montré une différence très hautement significative pour la longueur de la barbe chez les variétés étudiées (tableau 64). La longueur de la barbe chez la variété Soufara marque la valeur la plus élevée pour toutes les quatre variétés testées (15.28cm), suivie par les variétés Tissa et Oued-righ et Lagune avec respectivement 13.63, 12.63 et 11.50cm. Alors que les variétés Tina et Plaisant ont enregistré les valeurs les plus basse pour la longueur de la barbe avec respectivement 8.97 et 8.91cm (tableau 65).

Une grande diversité de la longueur de la barbe a été remarquée chez les variétés étudiées. La barbe est très active à la photosynthèse et peut contribuer significativement au remplissage des grains en développement (Guo and Schnurbusch, 2016) ; (Huang, Wu and Hong, 2021).

**Tableau 64 : Analyse de variance (longueur de la barbe en cm)**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété	15	168,270	11,218	50,997	< 0,0001

**Tableau 65: Groupes homogènes (longueur de la barbe en cm)**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes			
Soufara	15,28	A			
Tissa	13,63	B			
Oued-righ	12,63	C			
Lagune	11,50	D			
Fouara	11,25	D		E	
Acsad176	10,91	D		E F	
Tichedrett	10,86	D		E F	
Saïda183	10,85	D		E F	
Jaidor	10,46			E F G	
Rahma	10,33			E F G	
Alanda	10,20			F G	
Rihane03	10,00			F G	
Bahia	9,84			G	
Barberousse	9,70			G	
Tina	8,97			H	
Plaisant	8,91			H	

## 2.3. Composantes du rendement

### 2.3.1. Nombre d'épis au mètre carré

On remarque une différence très hautement significative entre les moyennes testées (tableau 66) et le test de Newman-Keuls à 5%, dégage plusieurs groupes homogènes (tableau 67). On note que les variétés Soufara, Rahma et Tissa ont marqué le plus grand nombre d'épis/m<sup>2</sup> (679,75 ; 677,50 et 648 épis/m<sup>2</sup>). Alors que les variétés Barberousse et Lagune ont enregistré le plus faible nombre d'épis/m<sup>2</sup> avec 386,25 et 320.50 épis/m<sup>2</sup> (Tableau 29). Les orges à deux rangs ont plus d'épis que les orges à six rangs, ces résultats sont confirmés par une autre l'étude de (Bensemmane *et al.*, 2011).

Le nombre d'épis/m<sup>2</sup> est l'un des critères de sélection des variétés pour un bon rendement (Donmez *et al.*, 2001) ; (Amokrane *et al.*, 2002) ; (Chahredine and Benderradji, 2019). Les meilleurs rendements en grains en zones semi-arides sont le résultat de la capacité génétique à produire plus

d'épis par unité de surface associée à une bonne fertilité (Abbassene, Bouzezour and Hachemi, 1997).

**Tableau 66 : Analyse de variance (nombre d'épis/m<sup>2</sup>)**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété	15	607049,484	40469,966	54,557	< 0,0001

**Tableau 67: Groupes homogènes (nombre d'épis/m<sup>2</sup>)**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes			
Soufara	679,75	A			
Rahma	677,50	A			
Tissa	648,00	A			
Rihane03	526,00	B			
Saïda183	521,75	B			
Oued-righ	511,50	B	C		
Tichedrett	500,25	B	C		
Acsad176	477,50	B	C	D	
Alanda	475,50	B	C	D	
Bahia	459,75		C	D	
Tina	441,25			D	
Plaisant	435,00			D	
Jaidor	434,00			D	
Fouara	427,75			D	
Barberousse	386,25			E	
Lagune	320,50				F

### 2.3.2. Nombre de grains par épi (NG/E)

Ce caractère joue un rôle important dans la détermination du rendement, il est en fonction de la fertilité de l'épi.

On remarque une différence hautement significative entre les moyennes testées (tableau 68), le test de Newman-Keuls à 5%, dégage plusieurs groupes homogènes où les variétés Acsad, Fouara, Rihane, Saïda et Oued-righ ont marqué le plus grand nombre de grains/épi (de 31.30 à 33 grains/épi). Puis se trouvent les variétés Bahia et Alanda. Alors que les variétés d'orge à deux rangs (Soufara, Rahma et Tissa) ont enregistré le plus faible nombre de grains/épi (tableau 69).

Le nombre de grains par épi est une composante directe du rendement, dépendant de la longueur et de la densité des épis ainsi que du nombre de rangs par épi (Madié and Paunovié, 2009). Les mêmes auteurs ajoutent que le nombre de grains par épi est une caractéristique variétale qui peut considérablement être affectée par des facteurs environnementaux.

En général, la salinité diminue le nombre de grains/épi, cette diminution touche beaucoup plus les orges à 2 rangs que les orges à 6 rangs (Bole and Wells, 1979). Ainsi les variétés les plus tolérantes

sont celles qui résistent à la salinité en phase de remplissage des grains (Setter *et al.*, 2016) et produisent plus de grains/épi (Oubaidou *et al.*, 2021).

**Tableau 68 : Analyse de variance (nombre de grains/épi)**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété	15	1027,248	68,483	55,695	< 0,0001

**Tableau 69: Groupes homogènes (nombre de grains/épi)**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes			
Acsad176	33,00	A			
Fouara	32,65	A			
Rihane03	31,89	A			
Saïda183	31,68	A			
Oued-righ	31,30	A			
Bahia	28,95		B		
Alanda	28,88		B		
Plaisant	28,15		B	C	
Tina	27,45		B	C	D
Barberousse	26,65			C	D
Tichedrett	26,20			C	D
Jaidor	25,98			C	D
Lagune	25,33				D
Soufara	20,98				E
Rahma	20,78				E
Tissa	20,63				E

### 2.3.3. Poids de 1000 grains (PMG)

On remarque une différence très hautement significative entre les moyennes testées (tableau 70), le test de Newman-Keuls à 5%, fait sortir plusieurs groupes homogènes où les variétés à deux rangs (Tissa, Soufara et Rahma) ont enregistré les plus grandes valeurs (44.74 44.32 et 44.30g). Par contre les variétés Barberousse, Plaisant et Tina ont marqué les plus faibles valeurs (36.89, 36.82 et 36.10g) (tableau 71).

On note qu'en général, les variétés qui ont un faible nombre de grains/épi ont marqué un poids de 1000 grains plus élevé, sauf pour les variétés Barberousse, Plaisant et Tina qui sont peut-être sensibles aux fortes chaleurs et/ou à la salinité.

Plusieurs études ont montré une corrélation négative entre la salinité et le poids de 1000 grains (Mansour *et al.*, 2021) ;(Chamekh *et al.*, 2014).

Donc le poids de 1000 grains est un bon critère de sélection pour améliorer le rendement en grain dans les sols salés.

**Tableau 70 : Analyse de variance (poids de 1000 grains en g)**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété	15	454,958	30,331	9,947	< 0,0001

**Tableau 71: Groupes homogènes (poids de 1000 grains en g)**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes			
Tissa	44,74	A			
Soufara	44,32	A	B		
Rahma	44,30	A	B		
Bahia	43,64	A	B		
Lagune	42,60	A	B	C	
Jaidor	42,53	A	B	C	
Oued-righ	41,75	A	B	C	
Saïda183	41,64	A	B	C	
Fouara	41,29	A	B	C	
Acsad176	40,73	A	B	C	
Alanda	40,40		B	C	
Tichedrett	40,21		B	C	
Rihane03	38,64			C	D
Barberousse	36,89				D
Plaisant	36,82				D
Tina	36,10				D

#### 2.3.4. Biomasse aérienne

On remarque une différence hautement significative entre les moyennes testées (tableau 72), le test de Newman-Keuls à 5%, dégage plusieurs groupes homogènes où la plus grande biomasse aérienne est enregistrée chez les variétés Acsad, Saïda et Soufara (82.38 ; 81.77 et 81.10qx/ha). Cependant la plus faible biomasse aérienne est enregistrée chez les variétés Barberousse et Lagune (41.74 et 38.51qx/ha) (tableau 73).

Plusieurs études ont montré que la salinité est corrélée négativement à la biomasse aérienne (Soussi, Ocaña and Lluch, 1998) (Negrão, Schmöckel and Tester, 2017) ; (Stavridou *et al.*, 2017) ; (Hussain *et al.*, 2022).

On peut considérer que la biomasse aérienne est un critère de sélection important s'il est lié à un bon rendement en grain en sols salés.

**Tableau 72 : Analyse de variance (biomasse aérienne en qx/ha)**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété	15	10817,326	721,155	87,488	< 0,0001

**Tableau 73: Groupes homogènes (biomasse aérienne en qx/ha)**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
Acsad176	82,38	A	
Saïda183	81,77	A	
Soufara	81,10	A	
Rihane03	76,25	B	
Oued-righ	74,48	B	
Tissa	73,05	B	
Rahma	68,66	C	
Tichedrett	65,60	C	D
Fouara	65,13	C	D
Bahia	64,35	C	D
Alanda	62,24		D
Plaisant	56,58		E
Tina	56,10		E
Jaidor	52,11		E
Barberousse	41,74		F
Lagune	38,51		F

### 2.3.5. Rendement en paille

D'après l'analyse statistique, on remarque une différence très hautement significative entre les moyennes testés (tableau 74), le test de Newman-Keuls à 5%, classe les variétés en plusieurs groupes homogènes où les variétés Acsad et Soufara ont enregistré les plus grands poids (22.13 et 21.97qx/ha), suivies par Saïda avec 19.17 qx/ha. Par contre la variété Lagune a marqué le plus faible poids (7.36qx/ha) (tableau 75).

**Tableau 74 : Analyse de variance (rendement en paille en qx/ha)**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété	15	1113,791	74,253	28,012	< 0,0001

**Tableau 75: Groupes homogènes (rendement en paille en qx/ha)**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes				
Acsad176	22,13	A				
Soufara	21,97	A				
Saïda183	19,17	B				
Tichedrett	14,92	C				
Rahma	14,21	C	D			
Rihane03	14,07	C	D			
Tina	13,86	C	D			
Tissa	13,66	C	D			
Oued-righ	13,07	C	D			
Plaisant	12,48	C	D	E		
Fouara	11,94	C	D	E		
Alanda	10,94		D	E	F	
Jaidor	10,62		D	E	F	
Bahia	9,45			E	F	G
Barberousse	8,51				F	G
Lagune	7,36					G

Malgré que la production de la paille est un caractère variétale, peut être influencé par les conditions du milieu ; parmi ces condition la salinité qui peut réduire le rendement en paille (Nia *et al.*, 2012) ; (Roy *et al.*, 2021) ; (Ibrahim and Hegab, 2022).

### 2.3.6. Rendement théorique

On remarque une différence très hautement significative entre les moyennes testées, le test de Newman-Keuls à 5% (tableau 76), fait sortir plusieurs groupes homogènes. Les rendements le plus élevés sont ceux des variétés Saïda, Oued-righ, Rihane et Acsad (68.79, 66.76, 64.78 et 64.19qx/ha). Alors que les plus faibles rendements sont enregistrés chez les variétés Barberousse et Lagune (37.70 et 34.52qx/ha) (tableau 77).

Les variétés d'orge tolérantes au stress salin peuvent assurer une bonne photosynthèse et ainsi assurer un bon rendement en grains (Adem *et al.*, 2014). En plus, les rendements sont aussi contrôlés par des gènes qui déterminent la période de floraison qui est corrélée aux composantes de rendement (Wiegmann *et al.*, 2019). Cependant une floraison précoce ne garantira pas toujours un bon rendement en grains (Kazan and Lyons, 2016).

**Tableau 76 : Analyse de variance (rendement théorique en grains qx/ha)**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété	15	6655,254	443,684	34,298	< 0,0001

**Tableau 77: Groupes homogènes (rendement théorique en grains qx/ha)**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes				
Saïda183	68,79	A				
Oued-righ	66,79	A	B			
Rihane03	64,78	A	B	C		
Acsad176	64,19	A	B	C		
Soufara	63,20	A	B	C		
Rahma	62,32	A	B	C	D	
Tissa	59,72		B	C	D	E
Bahia	57,97			C	D	E
Fouara	57,59			C	D	E
Alanda	55,45				D	E
Tichedrett	52,69					E F
Jaidor	47,98					F G
Plaisant	45,19					G
Tina	43,75					G
Barberousse	37,70					H
Lagune	34,52					H

### 2.3.7. Rendement réel

L'analyse statistique montre une différence très hautement significative entre les moyennes testées (tableau 78), le test de Newman-Keuls à 5%, dégage quatre groupes homogènes. Le rendement le plus élevé est enregistré chez les variétés Saïda, Rihane, Oued-righ, Acsad, Tissa et Soufara (59.13 à 62,60 qx/ha), et le plus faible est obtenu par la variété Tina (43,33qx/ha) (tableau 79).

L'orge est parmi les espèces cultivées tolérantes au stress salin, cependant, sous les niveaux plus élevés de salinité, sa croissance et sa production diminuent. Pour bien montrer cette tolérance, c'est l'étude réelle sur terrain qui peut vraiment la prouver. Dans notre cas malgré que le stress salin n'été pas sévère, on a pu montrer une variabilité de la réponse des variétés étudiées surtout en matière de rendement et qui complète l'essai précédent sur des pots.

Bien que divers caractères agronomiques soient évalués dans les programmes de sélection, le rendement en grains est toujours considéré comme principal caractère visé. Ce rendement est affecté principalement par les fluctuations environnementales (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2021).

Le rendement en grains de l'orge est directement lié au nombre de talles fertiles produites par plante, le nombre de grains par épi et le poids de mille grains. La salinité peut non seulement diminuer le nombre de talles productives et de fleurs fertiles par épi, mais elle peut également réduire le poids des grains (Rajeswari *et al.*, 2019). La diminution du rendement sous stress, peut s'expliquer par l'inhibition de la synthèse de l'amidon et de l'incapacité de la plante à transférer les glucides solubles surtout quand les températures sont élevées (Yamakawa and Hakata, 2010),

et c'est similaire à notre cas, où les températures commencent à s'élever lors de la période de remplissage des grains.

**Tableau 78 : Analyse de variance (rendement réel en grains qx/ha)**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété	15	6178,185	411,879	62,471	< 0,0001

**Tableau 79: Groupes homogènes (rendement réel en grains qx/ha)**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes
Saïda183	62,60	A
Rihane03	62,18	A
Oued-righ	61,41	A
Acsad176	60,25	A
Tissa	59,39	A
Soufara	59,13	A
Bahia	54,90	B
Rahma	54,45	B
Fouara	53,19	B
Alanda	51,30	B
Tichedrett	50,68	B
Plaisant	44,11	C
Tina	42,24	C
Jaidor	41,49	C
Barberousse	33,23	D
Lagune	31,15	D

### 2.3.8. Indice de récolte

D'après le tableau 80, il existe une différence très hautement significative entre les variétés étudiées où on a eu six groupes homogènes. L'indice de récolte le plus élevé est enregistré chez la variété Bahia (37,64%), suivie par les variétés Oued-righ, Alanda, Rihane, Fouara et Tissa (30.35 à et 32.14%) et enfin se classent les variétés Acsad et Soufara avec un indice de 21,41 et 21.25% respectivement (tableau 81).

Les variétés qui montrent une tolérance à la salinité sont celles qui maintiennent une bonne absorption d'eau et un bon indice de récolte (Harris, Sadras and Tester, 2010).

La plupart des auteurs ont mentionné l'importance de l'indice de récolte pour la sélection des géotypes adaptés pour certaines conditions environnementales, avec un effet négative de la salinité sur cet indice (Kohan *et al.*, 2016) ; (Jamshidi and Javanmard, 2018) ; (Sally, Ashgan, and El-Shimaa, 2019) ; (Mansour *et al.*, 2021).

Cependant un autre auteur (Hessini *et al.*, 2015), a signalé qu'aucune corrélation n'existe entre l'indice de récolte et la croissance et la productivité de la culture en conditions de stress salin.

Des critiques ont été émises par (Ismail, 1993) qui juge que cet index, ne représente qu'un taux qui peut fausser certains résultats et masquer certaines informations. En tant que ratio, il est sujet à des erreurs et il est très peu probable qu'il soit normalement distribué.

Dans notre on ne va pas utiliser l'indice de récolte pour la classification des variétés vis-à-vis de leur comportement aux conditions environnementales de la région de Biskra.

**Tableau 80 : Analyse de variance (indice de récolte en %)**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété	15	1145,447	76,363	8,226	< 0,0001

**Tableau 81: Groupes homogènes (indice de récolte en %)**

Modalité	Moyennes estimées	Groupes			
Bahia	37,64	A			
Oued-righ	32,14	B			
Alanda	32,04	B			
Rihane03	31,25	B			
Fouara	31,04	B			
Tissa	30,35	B			
Lagune	30,05	B	C		
Jaidor	28,07	B	C	D	
Barberousse	28,07	B	C	D	
Rahma	27,71	B	C	D	
Plaisant	26,25	B	C	D	
Tichedrett	25,38	B	C	D	
Saïda183	24,81	B	C	D	
Tina	23,34		C	D	
Acsad176	21,41			D	
Soufara	21,25			D	

#### 2.4. Classification des variétés

D'après le tableau 82 on peut classer les variétés selon le nombre de points obtenu.

Les variétés classées tolérantes : Acsad176, Oued-righ, Rahma, Rihane03, Saïda183, Soufara et Tissa. Les variétés moyennement tolérantes sont : Alanda, Bahia, Fouara, Plaisant Tichedrett et Tina. Alors les variétés peu tolérantes sont : Barberousse, Jaïdor et Lagune.

Cette classification est obtenue en condition de stress salin qui n'est pas sévère, et peut avoir une variabilité selon les conditions climatiques, le type du sol, les caractéristiques de l'eau d'irrigation et pratiques culturales (date de semis, fertilisation ...etc.).

En comparant la première classification des variétés dans le premier essai (variétés sont exposées aux différentes doses de NaCl) au chapitre précédent. Les résultats sont proches sauf que dans cet

essai le stress salin est modéré, où certaines variétés classées précédemment variétés moyennement tolérantes (Acsad176, Rahma et Soufara) sont devenues tolérantes. Une autre variété classée dans le premier essai comme peu tolérante est devenue moyennement tolérante dans cet essai puisque le stress salin n'est pas sévère.

**Tableau 82: Classification des variétés selon le degré de tolérance au stress salin**

Variété	Rdt R.	Rdt P.	Biom. aé	PMG	NE	NG/épi	Long. E.	S F	Epis/plte	Total	Classe
Acsad176	4	9	7	4	5	7	6	3	8	53	T
Alanda	3	4	3	3	5	6	6	2	5	37	MT
Bahia	3	3	2	5	4	6	3	1	7	34	MT
Barberousse	1	2	1	1	2	3	3	5	1	19	PT
Fouara	3	5	4	4	3	7	6	6	3	41	MT
Jaidor	2	4	2	4	3	3	2	1	2	23	PT
Lagune	1	1	1	4	1	2	3	1	1	15	PT
Oued-righ	4	6	5	4	6	7	6	1	9	48	T
Plaisant	2	6	4	1	3	5	4	3	4	32	MT
Rahma	3	6	6	5	8	1	6	1	10	46	T
Rihane03	4	7	6	2	7	7	5	2	6	46	T
Saïda183	4	8	7	4	7	7	6	7	9	59	T
Soufara	3	9	7	5	8	1	7	2	11	53	T
Tichedrett	3	7	6	3	6	3	1	2	4	35	MT
Tina	2	6	4	1	3	4	4	4	4	32	MT
Tissa	4	6	6	6	8	1	7	2	9	49	T

Rdt. R. : rendement réel en grain ; Rdt. P. ; rendement en paille ; Biom. Aér. : biomasse aérienne ; PMG : poids de mille grains ; NE : Epis/m<sup>2</sup> ; NG/épi : grains/épis ; long. E. : longueur d'épi ; SF : surface foliaire ; Epis/plte : épis/plante ; T : tolérante ; MT : moyennement tolérante ; PT : peu tolérante.

# Conclusion

## Conclusion

Ce travail achevé au cours de cette thèse s'inscrit dans le cadre de l'exploitation des terres marginales touchées par la salinité. Cette dernière est l'un des principaux facteurs qui agissent négativement sur les rendements des cultures. L'un des remèdes à ce problème est le bon choix des géotypes adéquats aux terrains salés. Notre objectif était la caractérisation de seize variétés d'orge en milieu salin en vue de dégager celles qui s'adaptent mieux à ces conditions.

L'étude a montré une grande variabilité de la réponse des géotypes étudiées vis-à-vis au stress salin.

Concernant **la première partie** consacrée à l'étude de la réponse des variétés d'orge irriguées avec des différentes concentrations de NaCl dans des pots, a révélé les constatations suivantes :

Les **stades phénologiques** ont marqué une grande variabilité chez les variétés étudiées ; l'effet de la salinité n'a été pas important avec une légère tardivité au cycle, mais pas d'interaction entre les 2 facteurs variété et stress salin.

Notant que pour les caractères morphologiques (nombre de talles, hauteur des plantes, longueur des racines, surface foliaire, biomasse aérienne et biomasse racinaire) ont enregistré une diminution surtout à la dose 180mM de NaCl. Ce taux de diminution chez les variétés tolérantes est entre faible à moyen.

L'analyse des résultats du **caractère chimique** montre que le traitement par le NaCl provoque une forte accumulation en sodium dans la partie aérienne pour toutes les variétés, dont les teneurs augmentent avec l'augmentation de la concentration du sel. Cette accumulation peut induire un déséquilibre pour la nutrition minérale. La teneur en  $\text{Na}^+$  de la partie aérienne est supérieure à celle enregistrés dans les racines. Les variétés les moins tolérantes ont enregistré de faibles teneurs en  $\text{Na}^+$  dans la partie aérienne. Donc on peut utiliser ce paramètre comme critère de sélection des variétés tolérantes au stress salin.

Cependant, pour le potassium ; toutes les variétés ont enregistré de variables diminutions dans les deux parties (aérienne et racinaire) avec l'augmentation du niveau du stress salin. Les valeurs supérieures du ratio  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  ont été enregistrées chez les variétés tolérantes.

Par ailleurs, les éléments  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{Ca}^{++}$ , ont aussi marqué des diminutions avec l'augmentation du niveau du stress salin. Les variétés qui ont gardé des teneurs élevées en ces deux éléments sont plus tolérantes que les autres.

Quant aux **caractères biochimiques et physiologiques** ; les variétés qui ont marqué une biomasse sèche importantes ont aussi enregistré des teneurs élevées en chlorophylle malgré sa diminution sous l'effet du stress salin. Cependant, les teneurs en proline ont connu des augmentations avec l'augmentation du niveau du stress salin. Ces accumulations sont plus importantes chez les variétés tolérantes et donc ce paramètre peut être utilisé comme un bon marqueur pour déterminer le génotype le plus tolérant.

En revanche, malgré les augmentations des teneurs en sucres solubles avec l'augmentation des concentrations en NaCl, les différences n'étaient pas significatives.

La teneur relative en eau (TRE) a marqué des diminutions avec l'augmentation des teneurs en NaCl. Les variétés qui ont enregistrées un faible taux de diminution en TRE vis-à-vis au stress salin sont les plus tolérantes.

Concernant le taux de déperdition d'eau (TDE) et la perméabilité membranaire, n'ont pas enregistré de significations sauf pour le stress salin.

D'après ces résultats, on peut déduire que les variétés qui gardent une certaine stabilité des valeurs (faible diminution ou faible augmentation vis-à-vis au stress), sont plus tolérantes au stress salin.

Au terme de cette partie, les variétés sont classées comme suit : les variétés **Fouara, Oued-righ, Rihane03 et Saïda183** sont des *variétés tolérantes* ; les variétés **Acsad176, Alanda, Bahia, Plaisant, Rahma, Soufara, Tichedrett, et Tissa** sont des *variétés moyennement tolérantes* alors que les variétés **Barberousse, Jaïdor, Lagune, et Tina** sont des *variétés peu tolérantes*.

Examinant la **deuxième partie** consacrée à l'étude du comportement de seize variétés dans la région de Biskra, irriguées par une eau salée (5.3ds/m) en plus de la salinité du sol. Cette étude a révélé les constatations suivantes :

Les résultats ont montré une variabilité aux différents stades, mais la durée du cycle végétatif a classé les variétés Saïda183, Soufara, Tissa, Alanda, Rahma Plaisant Acsad176 et Rihane03 comme *variétés précoces* ; les variétés Fouara, Bahia, Tichedrett, Oued-righ, Tina et Lagune comme *variétés semi-précoce* ; et enfin les variétés Jaïdor et Barberousse comme *variétés tardives*.

En examinant les paramètres morphologiques, les résultats dévoilent une grande variabilité chez les variétés étudiées ; le nombre de talles-épis est plus importants chez les variétés à deux rangs que chez les variétés à six rangs. La hauteur des plantes est une caractéristique variétale qui peut influencer sur le rendement en paille. Cependant, pour la surface foliaire ; la surface réduite est enregistrée beaucoup plus chez les orges à deux rangs que chez les orges à six rangs qui a été associé à une production importante en talles herbacées et talles épis.

Contrairement à la surface foliaire, la longueur des épis la plus importante est marquée chez les variétés à deux rangs. Quant aux composantes du rendement ; le nombre d'épis/m<sup>2</sup> qui est un paramètre très important pour l'établissement du rendement. Les valeurs les plus importants en nombre d'épis/m<sup>2</sup> sont enregistrés chez les variétés à deux rangs, mais il faut avoir aussi un nombre de grains/épi important pour marquer des rendements supérieurs.

Le rendement en paille est lié surtout à la longueur des plantes, qui est un caractère variétal mais peut être influencé par les facteurs environnementaux.

Le rendement en grains est le principal caractère visé. Ce rendement est affecté en plus du stress salin par les fluctuations climatiques surtout les fortes chaleurs en période de remplissage du grain. Ce sont les variétés précoces et moyennement précoces qui peuvent échapper à ce facteur climatique et sont celles qui ont données des rendements supérieurs.

Enfin le classement des variétés dans cette partie a dégagé les *variétés tolérantes* : **Acsad176, Oued-righ, Rahma, Rihane03, Saïda183, Soufara et Tissa** ; les *variétés moyennement tolérantes* : **Alanda, Bahia, Fouara, Plaisant Tichedrett et Tina** ; et enfin les *variétés peu tolérantes* : **Barberousse, Jaïdor et Lagune**.

Cette classification est obtenue en conditions de stress salin, avec les effets environnementaux de la région de Biskra, et les pratiques culturales (date de semis, fertilisation ...etc.).

En comparant cette classification avec la classification de la première partie ; les deux classifications sont proches sauf que certaines variétés au premier essai classées comme variétés moyennement tolérantes (Acsad176, Rahma et Soufara) sont devenues tolérantes au deuxième essai ; et la variété Tina classée au premier essai comme peu tolérante est devenue moyennement tolérante en deuxième essai puisque le stress salin n'était pas sévère.

Après avoir étudié le comportement des variétés d'orge sous l'effet du stress salin, et déterminer les caractères morphologiques, chimiques et physiologiques qui peuvent contribuer ainsi au classement des variétés tolérantes. Il est intéressant de procéder à l'amélioration génotypique ; par des croisements entre les différents génotypes, et à l'amélioration des sols en intervenant sur leurs propriétés physico-chimiques pour s'adapter à l'irrigation en eaux salées. C'est ainsi que nous pouvons exploiter les terres marginales et augmenter la production en céréales et satisfaire nos besoins qui sont en perpétuel accroissement.

# Références bibliographiques

# Références bibliographiques

(Style Harvard généré par Mendeley)

- Abbas, A. *et al.* (2013) 'Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach', *Physics and Chemistry of the Earth*. Elsevier Ltd, 55, pp. 43–52. doi: 10.1016/j.pce.2010.12.004.
- Abbas, K. M. *et al.* (2012) 'Salt Tolerance Study of Six Cultivars of Rice (*Oryza sativa* L.) During Germination and Early Seedling Growth', *Journal of Agricultural Science*, 5(1), pp. 250–259. doi: 10.5539/jas.v5n1p250.
- Abbassene, F., Bouzezour, H. and Hachemi, L. (1997) 'Taux de remplissage et durée de la phase de remplissage chez 14 génotypes de blé dur (*T. durum* Desf) en zone semi-aride', *Recherche Agronomique INRAA*, 3, pp. 9–17.
- Abdel-hamid, A. M. E. and Mohamed, H. I. (2014) 'the Effect of the Exogenous Gibberellic Acid on Two Salt Stressed Barley Cultivars', *European Scientific Journal*, 10(6), pp. 228–245.
- Abdel-samad, H. M. (2013) 'The physiological response of wheat plants to exogenous application of gibberellic acid (GA3) or indole-3-acetic acid (IAA) with endogenous ethylene under salt stress conditions', *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 5(4), pp. 58–64. doi: 10.5897/IJPPB12.016.
- Abdelly, C. *et al.* (1995) 'Association épisodique d'halophytes stricts et de glycophytes dans un écosystème hydromorphe salé en zone semi-aride', *Agronomie*, 15(9–10), pp. 557–568.
- Abdul-Jaleel, C. *et al.* (2007) 'Responses of antioxidant defense system of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. to paclobutrazol treatment under salinity', *Acta Physiologiae Plantarum*, 29(3), pp. 205–209. doi: 10.1007/s11738-007-0025-6.
- Abrol, I. P., Yadav, J. S. P. and Massoud, F. I. (1988) *Salt-affected soils and their management*, *FAO Soils Bulletin*. vol. 39. Italy, Rome.
- Adem, G. D. *et al.* (2014) 'Evaluating contribution of ionic, osmotic and oxidative stress components towards salinity tolerance in barley', *BMC Plant Biology*, 14(1), pp. 1–13. doi: 10.1186/1471-2229-14-113.
- Adjel, F. *et al.* (2013) 'Salt Stress Effects on Seed Germination and Seedling Growth of Barley (*Hordeum Vulgare* L.) Genotypes', *Journal of Agriculture and sustainability*, 3(2), pp. 223–237.
- Ahmed, I. M. *et al.* (2013) 'Genotypic differences in physiological characteristics in the tolerance to drought and salinity combined stress between Tibetan wild and cultivated barley', *Plant Physiology and Biochemistry*. Elsevier Masson SAS, 63, pp. 49–60. doi: 10.1016/j.plaphy.2012.11.004.
- Akbari, G. A. *et al.* (2011) 'Exogenously applied hexaconazole ameliorates salinity stress by inducing an antioxidant defense system in *Brassica napus* L. plants', *Pesticide Biochemistry and Physiology*. Elsevier Inc., 100(3), pp. 244–250. doi: 10.1016/j.pestbp.2011.04.008.
- Al-Hakimi, A., Monneveux, P. and Galiba, G. (1995) 'Soluble sugars, proline, and relative water content (RCW) as traits for improving drought tolerance and divergent selection for RCW from *T. polonicum* into *T. durum*', *Journal of Genetics and Breeding*, 49, pp. 237–244.
- Al-Rumaih, May M and Al-Rumaih, Muna M (2007) 'Physiological response of two species of *datura* to uniconazole and salt stress', *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 5(3–4), pp. 450–453.
- Albouchi, A., Ghirir, R. and El Aouni, M. (1997) 'Endurcissement à la sécheresse et accumulation de glucides solubles et d'acides aminés libres dans les phyllodes d'*Acacia cyanophylla* Lindl', *Annales des Sciences Forestières*, 54(2), pp. 155–168. doi: 10.1051/forest:19970203.
- Alcázar Hernández, R. *et al.* (2012) 'Polyamine metabolism and signaling in plant abiotic stress protection', in Muñoz-Torrero, D., Haro, D., and Vallès, Joan. Chapter 3, p. 29-47 (eds) *Recent Advances in Pharmaceutical Sciences II*.
- Alem, C. *et al.* (2002) 'Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin', *Comptes Rendus Biologies*, 325, pp. 1097–1109. doi: 10.1016/S1631-0691(02)01531-7.
- Ali, B. *et al.* (2006) 'Effect of root applied 28-homobrassinolide on the performance of *Lycopersicon esculentum*', *Scientia Horticulturae*, 110(3), pp. 267–273. doi: 10.1016/j.scienta.2006.07.015.
- Ali, H. (2011) *Practices of irrigation and on-farm water management*, *Practices of Irrigation and On-farm Water Management*. Volume 2. Springer Science & Business Media. 571p. doi: 10.1007/978-1-4419-7637-6.
- Ali, Q., Athar, H. and Ashraf, M. (2008) 'Modulation of growth, photosynthetic capacity and water relations in salt stressed wheat plants by exogenously applied 24-epibrassinolide', *Plant Growth Regulation*, 56(2), pp. 107–116. doi: 10.1007/s10725-008-9290-7.
- Altuntas, O., Akhoundnejad, Y. and Dasgan, H. Y. (2018) 'Silicon-induced salinity tolerance improves photosynthesis, leaf water status, membrane stability, and growth in pepper (*Capsicum annuum* L.)', *HortScience*, 53(12), pp. 1820–1826. doi: 10.21273/HORTSCI13411-18.

- Alvarez, I., Tomaro, M. L. and Benavides, M. P. (2003) 'Changes in polyamines, proline and ethylene in sunflower calluses treated with NaCl', *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 74(1), pp. 51–59. doi: 10.1023/A:1023302012208.
- Aly-Salama, K. H. and Al-Mutawa, M. M. (2009) 'Glutathione-triggered mitigation in salt-induced alterations in plasmalemma of onion epidermal cells', *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(5), pp. 639–642.
- Amini, F. and Ehsanpour, A. A. (2005) 'Soluble Proteins, Proline, Carbohydrates and Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> Changes in Two Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Cultivars under in vitro Salt Stress', *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 1(4), pp. 212–216. doi: 10.3844/ajbbbsp.2005.212.216.
- Amokrane, A. *et al.* (2002) 'Etude comparative des variétés de blé dur (*Triticum durum* desf.) d'origine algérienne, syrienne et européenne sous climat de type méditerranéen', *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, (1), pp. 33–38.
- Amtmann, A. and Leigh, R. (2010) 'Ion Homeostasis', in Ashwani Pareek, S.K. Sopory, Hans J. Bohnert, G. (ed.) *Abiotic Stress Adaptation in Plants: Physiological, Molecular and Genomic Foundation*. Springer, pp. 245–262. doi: 10.1007/978-90-481-3112-9.
- Anbumalarmathi, J. *et al.* (2013) 'Effect of Salt Stress on Germination of indica Rice Varieties', *EJBS*, 6(1), pp. 1–6.
- Anuradha, S. and Rao, S. S. R. (2003) 'Application of brassinosteroids to rice seeds (*Oryza sativa* L.) reduced the impact of salt stress on growth, prevented photosynthetic pigment loss and increased nitrate reductase activity', *Plant Growth Regulation*, 40(1), pp. 29–32. doi: 10.1023/A:1023080720374.
- Anuradha, S. and Rao, S. S. S. (2001) 'Effect of brassinosteroids on salinity stress induced inhibition of seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.)', *Plant Growth Regulation*, 33(2), pp. 151–153.
- Anwar, S. *et al.* (2011) 'Response of barley genotypes to salinity stress as alleviated by seed priming', *Pakistan Journal of Botany*, 43(6), pp. 2687–2691.
- Apse, M. P. and Blumwald, E. (2007) 'Na<sup>+</sup> transport in plants', *FEBS Letters*, 581(12), pp. 2247–2254. doi: 10.1016/j.febslet.2007.04.014.
- Araus, J. L. *et al.* (2008) 'Breeding for yield potential and stress adaptation', *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27(6), pp. 377–412.
- Arias-Baldrich, C. *et al.* (2015) 'Proline synthesis in barley under iron deficiency and salinity', *Journal of Plant Physiology*, 183, pp. 121–129. doi: 10.1016/j.jplph.2015.05.016.
- Arnon, D. I. (1949) 'Copper Enzymes In Isolated Chloroplasts. Polyphenoloxidase In Beta Vulgaris', *Plant Physiology*, 24(1), pp. 1–15.
- Arora, N. *et al.* (2008) 'Effects of 28-homobrassinolide on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activities in seedlings of *Zea mays* L. under salinity stress', *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(6), pp. 833–839. doi: 10.1007/s11738-008-0188-9.
- Ashraf, M. and Ali, Q. (2008) 'Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.)', *Environmental and Experimental Botany*, 63(1–3), pp. 266–273. doi: 10.1016/j.envexpbot.2007.11.008.
- Ashraf, M. and Foolad, M. R. (2007) 'Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance', *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), pp. 206–216. doi: 10.1016/j.envexpbot.2005.12.006.
- Ashraf, M., Karim, F. and Rasul, E. (2002) 'Interactive effects of gibberellic acid (GA3) and salt stress on growth, ion accumulation and photosynthetic capacity of two spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance', *Plant Growth Regulation*, 36(1), pp. 49–59.
- Athar, H. U. R., Khan, A. and Ashraf, M. (2008) 'Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat', *Environmental and Experimental Botany*, 63(1–3), pp. 224–231. doi: 10.1016/j.envexpbot.2007.10.018.
- Ayars, J. E. (2011) 'On-Farm irrigation and drainage practices', in Wallender, W. W. and Tanji, K. K. (eds) *Agricultural Salinity Assessment and Management*. (No. Ed. 2). American Society of Civil Engineers (ASCE), pp. 511–538. doi: 10.1061/9780784411698.ch16.
- Ayed, S. *et al.* (2014) 'Effect of salt stress (sodium chloride) on germination and seedling growth of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes', *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 6(4), pp. 320–325. doi: 10.5897/IJBC2013.0668.
- Ayed, S. *et al.* (2016) 'Criblage de quelques génotypes de blé dur (*Triticum durum* desf.) sous un stress salin en culture de pot', *European Scientific Journal*, ESJ, 12(9), pp. 313–325. doi: 10.19044/esj.2016.v12n9p313.
- Ayers, R. S. and Westcot, D. W. (1985) *Water Quality for Agriculture, Irrigation and Drainage paper*. FAO, Rome. 97p.
- Azadikhah, M. *et al.* (2019) 'Growth promotion and yield enhancement of barley cultivars using ACC deaminase producing *Pseudomonas fluorescens* strains under salt stress', *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17(1), pp. 1–12. doi: 10.5424/sjar/2019171-13828.

- Azam, F. and Ifzal, M. (2006) 'Microbial populations immobilizing  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  differ in their sensitivity to sodium chloride salinity in soil', *Soil Biology and Biochemistry*, 38(8), pp. 2491–2494. doi: 10.1016/j.soilbio.2006.01.028.
- Babu, M. a., Singh, D. and Gothandam, K. M. (2012) 'The effect of salinity on growth, hormones and mineral elements in leaf and fruit of tomato cultivar PKM1', *Journal of Animal and Plant Sciences*, 22(1), pp. 159–164.
- Bagci, S. A., Ekiz, H. and Yilmaz, A. (2003) 'Determination of the salt tolerance of some barley genotypes and the characteristics affecting tolerance', *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27(5), pp. 253–260.
- Bahrani, A. and Joo, M. H. (2012) 'Response of Some Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes to Salinity at Germination and Early Seedling Growth Stages', 16(4), pp. 599–609.
- Baize, D. (2000) *Guide des analyses en pédologie*. 2e édition. Editions Quae.257p.
- Bajji, M., Kinet, J. M. and Lutts, S. (2002) 'The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat', *Plant Growth Regulation*, 36(1), pp. 61–70. doi: 10.1023/A:1014732714549.
- Bakht, J. *et al.* (2007) 'Growth performance of oat and barley at early seedling stage', *Sarhad J. Agric*, 23(3), pp. 565–569.
- Bakht, J. *et al.* (2011) 'Response of maize (*Zea mays* L.) to seed priming with NaCl and salinity stress', *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(1), pp. 252–261. doi: 10.5424/sjar/20110901-113-10.
- Bar, Y. *et al.* (1997) 'Relationship between chloride and nitrate and its effect on growth and mineral composition of avocado and citrus plants', *Journal of Plant Nutrition*, 20(6), pp. 715–731. doi: 10.1080/01904169709365288.
- Bchini, H. *et al.* (2009) 'Paramètres agronomiques contribuant à la tolérance à la contrainte saline chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.)', *Ann. de l'INRAT Tunisie*, 82, pp. 53–65. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Ben-Khaled, A. *et al.* (2012) 'Evaluating Salt Tolerance of 14 Barley Accessions from Southern Tunisia Using Multiple Parameters', *Journal of Agricultural Science*, 4(12). doi: 10.5539/jas.v4n12p27.
- Ben-Naceur, M. *et al.* (2001) 'Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé', *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 12(3), pp. 167–174.
- Benmahammed, A. (2004) 'La production de l'orge et possibilités de développement en Algérie', *Céréaliculture*, 41, pp. 34–38.
- Bennett, D. R. (1990) 'Reclamation of saline soils adjacent to rehabilitated irrigation canals', *Canadian Agricultural Engineering*, 32(1), pp. 1–9.
- Bensemmane, L. *et al.* (2011) 'Assessment of the phenotypic variation within two- and six-rowed barley (*Hordeum vulgare* L.) breeding lines grown under semi-arid conditions', *Advances in Environmental Biology*, 5(7), pp. 1454–1460.
- Berdahl, J. D., Rasmusson, D. C. and Moss, D. N. (1972) 'Effects of Leaf Area on Photosynthetic Rate, Light Penetration, and Grain Yield in Barley', *Crop Science*, 12(2), pp. 177–180.
- Berger, M. and Planchon, C. (1990) 'Physiological factors determining yield in bread wheat. Effects of introducing dwarfism genes', *Euphytica*, 51(1), pp. 33–39.
- Bernstein, L. (1975) 'Effects of Salinity and Sodicity on Plant Growth', *Annual Review of Phytopathology*, 13(1), pp. 295–312. doi: 10.1146/annurev.py.13.090175.001455.
- Bissati, S. *et al.* (2011) 'Effet du stress salin sur deux paramètres hydriques (turgescence et transpiration) de jeunes plants d'*Atriplex halimus* et *Atriplex canescens*', *Revue des bio ressources*, 1, pp. 31–38.
- Boivin, P. *et al.* (1989) 'Conductivité électromagnétique et interpolation par krigeage', *Science du sol*, 27(1), pp. 69–72.
- Bolarín, M. C. *et al.* (1995) 'Short-term Solute Changes in Leaves and Roots of Cultivated and Wild Tomato Seedlings Under Salinity', *Journal of Plant Physiology*, 147(3–4), pp. 463–468. doi: 10.1016/S0176-1617(11)82184-X.
- Bole, J. B. and Wells, S. A. (1979) 'Dryland Soil Salinity: Effect on the Yield and Yield Components of 6-Row Barley, 2-Row Barley, Wheat, and Oats', *Canadian Journal of Soil Science*, 59(1), pp. 11–17. doi: 10.4141/cjss79-002.
- Borsani, O., Valpuesta, V. and Botella, M. a (2001) 'Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in *Arabidopsis* seedlings.', *Plant physiology*, 126(3), pp. 1024–1030. doi: 10.1104/pp.126.3.1024.
- Bouassaba, K. and Chougui, S. (2018) 'Effet du stress salin sur le comportement biochimique et anatomique chez deux variétés de piment (*Capsicum annuum* L.) à Mila/Algérie', *European Scientific Journal, ESJ*, 14(15), p. 159. doi: 10.19044/esj.2018.v14n15p159.
- Bouché, N. and Fromm, H. (2004) 'GABA in plants: Just a metabolite?', *Trends in Plant Science*, 9(3), pp. 110–115. doi: 10.1016/j.tplants.2004.01.006.
- Bouwer, H. (2002) 'Integrated Water Management for the 21st Century: Problems and Solutions', *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128(4), pp. 193–202.
- Bouzerzour, H. *et al.* (1998) 'Contribution de la biomasse aérienne de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement en grains de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude', *Cahiers de l'Agriculture*, 8, pp. 133–137.

- Bouzerzour, H. and Benmahammed, A. (1993) 'Environmental factors limiting barley yield in the high plateaux of eastern Algeria (*Hordeum vulgare*)', *Barley and Wheat Newsletter*, 12(1–2), pp. 14–19.
- Brady, N. C. and Weil, R. R. (2002) *The Nature and Properties of Soils 13th ed.* Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- Bybordi, A. (2010) 'The influence of salt stress on seed germination, growth and yield of canola cultivars', *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1), pp. 128–133.
- Carpýcý, E. B., Celik, N. and Bayram, G. (2009) 'Effects of salt stress on germination of some maize (*Zea mays* L.) cultivars', *African Journal of Biotechnology*, 8(19), pp. 4918–4922.
- Cha-Um, S. and Kirdmanee, C. (2009) 'Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars', *Pakistan Journal of Botany*, 41(1), pp. 87–98.
- Chahredine, S. and Benderradji, L. (2019) 'Évaluation du progrès génétique de quinze variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) cultivées en Algérie', *Agriculture and Forestry Journal*, 3(1), pp. 15–22.
- Chakrabarti, N. and Mukherji, S. (2003) 'Alleviation of NaCl stress by pretreatment with phytohormones in *Vigna radiata*', *Biologia Plantarum*, 46(4), pp. 589–594. doi: 10.1023/A:1024827931134.
- Chamekh, Z. *et al.* (2014) 'Effect of salt stress on the flag leaf area and yield components in twenty five durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* ssp. durum)', *Journal of New Sciences*, 6(3), pp. 15–23.
- Charles, R. *et al.* (2012) 'Variétés, densité de semis et fumure azotée sur orge d'automne', *Recherche Agronomique Suisse*, 3(2), pp. 88–95.
- Chauhan, R. P. S., Chauhan, C. P. S. and Kumar, D. (1980) 'Free proline accumulation in cereals in relation to salt tolerance', *Plant and Soil*, 57, pp. 167–175. doi: 10.1007/BF02211676.
- Cheeseman, J. M. (1988) 'Mechanisms of salinity tolerance in plants.', *Plant physiology*, 87(3), pp. 547–550. doi: 10.1104/pp.87.3.547.
- Chen, L. *et al.* (2013) 'Physiological and Molecular Responses to Salt Stress in Wild Emmer and Cultivated Wheat', *Plant Molecular Biology Reporter*, 31(6), pp. 1212–1219. doi: 10.1007/s11105-013-0584-1.
- Chen, T. H. H. and Murata, N. (2002) 'Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes', *Current Opinion in Plant Biology*, 5, pp. 250–257.
- Chen, T. H. H. and Murata, N. (2008) 'Glycinebetaine: an effective protectant against abiotic stress in plants', *Trends in Plant Science*, 13(9), pp. 499–505. doi: 10.1016/j.tplants.2008.06.007.
- Chen, T. H. H. and Murata, N. (2011) 'Glycinebetaine protects plants against abiotic stress: Mechanisms and biotechnological applications', *Plant, Cell and Environment*, 34(1), pp. 1–20. doi: 10.1111/j.1365-3040.2010.02232.x.
- Chen, X. *et al.* (2020) 'Morphology and Physicochemical Properties of Starch from Waxy and Non-Waxy Barley', *Starch/Staerke*, 72(5–6), pp. 1–10. doi: 10.1002/star.201900206.
- Chen, Z. *et al.* (2007) 'Compatible solute accumulation and stress-mitigating effects in barley genotypes contrasting in their salt tolerance', *Journal of Experimental Botany*, 58(15–16), pp. 4245–4255. doi: 10.1093/jxb/erm284.
- Cheong, J. J. and Choi, Y. Do (2003) 'Methyl jasmonate as a vital substance in plants', *Trends in Genetics*, 19(7), pp. 409–413. doi: 10.1016/S0168-9525(03)00138-0.
- Cherbuy, B. (1991) *Les sols salés et leur réhabilitation: Etude bibliographique.* Ecole Supérieure d'Agronomie Rennes (Fr), 124p.
- Chijioko, O. B. (2017) *Genetic variation of traits related to salt stress response in Wheat (Triticum aestivum L.)*. Thesis doct. Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz. Universität Bonn. 194p.
- Clarke, J. M. *et al.* (1989) 'Relationship of excised-leaf water loss rate and yield of durum wheat in diverse environments', *Canadian Journal of Plant Science*, 69(4), pp. 1075–1081.
- Clarke, J. M. and McCaig, T. N. (1982) 'Excised-leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes', *Canadian Journal of Plant Science*, 62(3), pp. 571–578. doi: 10.4141/cjps82-086.
- Corpas, F. J. *et al.* (2011) 'Nitric oxide imbalance provokes a nitrosative response in plants under abiotic stress', *Plant Science*. Elsevier Ireland Ltd, 181(5), pp. 604–611. doi: 10.1016/j.plantsci.2011.04.005.
- Couée, I. *et al.* (2006) 'Involvement of soluble sugars in reactive oxygen species balance and responses to oxidative stress in plants', *Journal of Experimental Botany*, 57(3), pp. 449–459. doi: 10.1093/jxb/erj027.
- Coventry, S. J. *et al.* (2008) 'Investigating root architecture in barley and responses to salinity and high boron', in *Proc 10th Int Barley Genet Symp.* Alexandria, Egypt: ICARDA, pp. 180–189.
- Cyrus, D. P., Martin, T. J. and Reavell, P. E. (1997) 'Salt-water intrusion from the Mzingazi River and its effects on adjacent swamp forest at Richards Bay, Zululand, South Africa', *Water Sa-Pretoria*, 23, pp. 101–108.
- D'Onofrio, C. and Lindberg, S. (2009) 'Sodium induces simultaneous changes in cytosolic calcium and pH in salt-tolerant

- quince protoplasts.', *Journal of plant physiology*, 166(16), pp. 1755–63. doi: 10.1016/j.jplph.2009.05.006.
- Dakak, H. *et al.* (2011) 'Prospection de la salinité des sols par induction électromagnétique sur la plaine du Tadla (Maroc): tentative d'optimisation par analyse géostatistique', *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 22(3), pp. 178–185.
- Dakhli, R. and Lamouri, R. (2014) 'Effet des Margines sur la performance quantitative et qualitative de deux variétés d'orge (*Hordeum Vulgare L.*)', *J. Mater. Environ. Sci.*, 5(3), pp. 915–922.
- Dalton, S. (2002) 'Grains', *Encyclopedia of foods: A Guide to Healthy Nutrition*. Academic Press. Elsevier San Diego, California.
- Daoud, Y. and Halitim, A. (1994) 'Irrigation et salinisation au Sahara algérien', *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 5(3), pp. 151–160.
- Darko, E. *et al.* (2017) 'Differing metabolic responses to salt stress in wheat-barley addition lines containing different 7H chromosomal fragments', *PLOS ONE*, 12(3), pp. 1–20. doi: 10.1371/journal.pone.0174170.
- Datta, J. K. *et al.* (2009) 'Impact of salt stress on five varieties of Wheat (*Triticum aestivum L.*) cultivars under laboratory condition', *J. Appl. Sci. Environ. Manage*, 13(3), pp. 93–97.
- De-Lacerda, C. F. *et al.* (2003) 'Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress', *Environmental and Experimental Botany*, 49(2), pp. 107–120. doi: 10.1016/S0098-8472(02)00064-3.
- De-Souza Silva, C. M. M. and Fay, E. F. (2012) 'Effect of Salinity on Soil Microorganisms', in Dr Hernandez Soriano, M. C. (ed.) *Soil Health and Land Use Management*, pp. 177–198. Available at: <http://www.intechopen.com/books/soil-health-and-land-usemanagement/>.
- Del-Carmen Martínez-ballesta, M. *et al.* (2011) 'Plant hydraulic conductivity: The aquaporins contribution', in Elango, P. L. (ed.) *Hydraulic Conductivity*, pp. 103–122.
- Demiral, T. and Türkan, I. (2005) 'Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance', *Environmental and Experimental Botany*, 53(3), pp. 247–257. doi: 10.1016/j.envexpbot.2004.03.017.
- Denoroy, P., Jordan-Meille, L. and Sagot, S. (2019) *La fertilisation P – K – Mg, Les bases du raisonnement*. Groupe PKMg COMIFER. 40p.
- Derredji, F. *et al.* (2004) 'Aptitude des eaux de la vallée de la Seybouse à l'irrigation (Nord-Est algérien)', *Sécheresse*, 15(4), pp. 353–360.
- DGTF (2022) 'Lettre économique d'Algérie', *Direction générale du Trésor France, N°108 Mai-Juin*, pp. 1–8.
- Diao, M. *et al.* (2014) 'Selenium Promotes the Growth and Photosynthesis of Tomato Seedlings Under Salt Stress by Enhancing Chloroplast Antioxidant Defense System', *Journal of Plant Growth Regulation*, 33(3), pp. 671–682. doi: 10.1007/s00344-014-9416-2.
- Djerah, A. and Oudjehih, B. (2015) 'Effet du stress salin sur la germination de seize variétés d'orge (*Hordeum vulgare L.*)', *Courrier du Savoir*, 20(Décembre), pp. 47–56.
- Djibril, S. *et al.* (2005) 'Growth and development of date palm (*Phoenix dactylifera L.*) seedlings under drought and salinity stresses', *African Journal of Biotechnology*, 4(September), pp. 968–972.
- Dong, C. J., Wang, X. L. and Shang, Q. M. (2011) 'Salicylic acid regulates sugar metabolism that confers tolerance to salinity stress in cucumber seedlings', *Scientia Horticulturae*, 129(4), pp. 629–636. doi: 10.1016/j.scienta.2011.05.005.
- Donmez, E. *et al.* (2001) 'Genetic gain in yield attributes of winter wheat in the Great Plains', *Crop Science*, 41(5), pp. 1412–1419. doi: 10.2135/cropsci2001.4151412x.
- Doré, C. and Varoquaux, F. (2006) *Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées*. Ed. Quae. Collection Savoire-faire. INRA, Cemagref Cirad. 812p.
- Duan, J. J. *et al.* (2008) 'Exogenous spermidine affects polyamine metabolism in salinity-stressed *Cucumis sativus* roots and enhances short-term salinity tolerance', *Journal of Plant Physiology*, 165(15), pp. 1620–1635. doi: 10.1016/j.jplph.2007.11.006.
- Dubois, M. *et al.* (1956) 'Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances', *Analytical chemistry*, 28(3), pp. 350–356.
- Duchaufour, P. (1970) *Précis de Pédologie*. Masson. Paris, 481p: 3eme édition. Masson et Cie, Paris. 481p.
- El-Fergougui, M. and Boutoutaou, D. (2012) 'Relation entre l'évaporation de la nappe phréatique et le pouvoir évaporant de l'atmosphère en zones arides', *Courrier du savoir*, 13(1), pp. 9–12.
- El-Goumi, Y. *et al.* (2014) 'Salt stress effect on seed germination and some physiological traits in three Moroccan barley (*Hordeum vulgare L.*) cultivars', *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(2), pp. 625–632.
- El-Madidi, S., El-Baroudi, B. and Aameur, F. B. (2003) 'Variation de la tolérance à la salinité chez l'orge pendant la germination

- et la croissance des plantes', *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 23(2), pp. 109–115.
- El-Midaoui, M. *et al.* (2007) 'Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.)', *Hommes Terre et Eaux*, 136, pp. 29–34.
- El-yazied, A. A. *et al.* (2012) 'Effect of magnetic field treatments for seeds and irrigation water as well as N, P and K levels on productivity of tomato plants', *Journal of Applied Sciences Research*, 8(4), pp. 2088–2099.
- Eleiwa, M. E., Bafeel, S. O. and Ibrahim, S. A. (2011) 'Influence of Brassinosteroids on Wheat Plant (*Triticum aestivum* L.) Production under Salinity Stress Conditions I- Growth Parameters and Photosynthetic Pigments', *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(5), pp. 58–65.
- Eleiwa, M. E. and Ibrahim, S. A. (2011) 'Influence of Brassinosteroids on Wheat Plant (*Triticum aestivum* L.) Production under Salinity Stress Conditions II- Chemical Constituent and Nutritional Status', *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(5), pp. 49–57.
- Ellouzi, H. *et al.* (2013) 'Increased sensitivity to salt stress in tocopherol-deficient Arabidopsis mutants growing in a hydroponic system', *Plant signaling & behavior*, 8(2), p. e23136.1-13. doi: 10.4161/psb.23136.
- Esechie, H. (1995) 'Partitioning of chloride ion in the germinating seed of two forage legumes under varied salinity and temperature regimes', *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26(19–20), pp. 3357–3370. doi: 10.1080/00103629509369532.
- Essington, M. E. (2004) *Soil and water chemistry. An Integrative Approach*. CRC Press LLC. 553p.
- Faheed, F. A., Hassanein, A. M. and Azooz, M. M. (2005) 'Gradual increase in nacl concentration overcomes inhibition of seed germination due to salinity stress in Sorghum Bicolor (L.)', *Acta Agronomica Hungarica*, 53(2), pp. 229–239. doi: 10.1556/AAgr.53.2005.2.11.
- Falakboland, Z. *et al.* (2017) 'Plant ionic relation and whole-plant physiological responses to waterlogging, salinity and their combination in barley', *Functional Plant Biology*, 44(9), pp. 941–953. doi: 10.1071/FP16385.
- FAO (2011) *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture: Managing Systems at Risk*. Earthscan. 308p.
- FAO and IPTRID (2006) 'Conférence électronique sur la salinisation: Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation', *Project CISEAU*, p. 12.
- FAOSTAT (2022) *Production des cultures, Statistics database*.
- Farouk, S. (2011) 'Ascorbic Acid and  $\alpha$ -Tocopherol Minimize Salt-Induced Wheat Leaf Senescence Ascorbic Acid and  $\alpha$ -Tocopherol Minimize Salt-Induced Wheat Leaf Senescence', *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7(3), pp. 58–79.
- Fast, R. B. and Caldwell, E. F. (2000) *Breakfast cereals and how they are made*. No. Ed. 2. American Association of cereal chemists.564p.
- Faye, E. *et al.* (2014) 'Evaluation et amélioration du comportement de *Atriplex lentiformis* (Torr.) S. Watson en milieux salés au Sénégal', *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(4), pp. 1697–1709. doi: 10.4314/ijbcs.v8i4.30.
- Fayez, K. A. and Bazaid, S. A. (2014) 'Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate', *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. King Saud University & Saudi Society of Agricultural Sciences, 13(1), pp. 45–55. doi: 10.1016/j.jssas.2013.01.001.
- Fedina, I. S., Nedeva, D. and Çiçek, N. (2009) 'Pre-treatment with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> induces salt tolerance in barley seedlings', *Biologia Plantarum*, 53(2), pp. 321–324. doi: 10.1007/s10535-009-0058-3.
- Fercha, A., Gherroucha, H. and Baka, M. (2011) 'Improvement of Salt Tolerance in Durum Wheat By Ascorbic Acid Application Improvement of Salt Tolerance in Durum', *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7(1), pp. 27–37.
- Fernández, F. G. and Hoefl, R. G. (2009) 'Managing soil pH and crop nutrients', in *Illinois Agronomy Handbook*. Univ. of Illinois, Urbana, pp. 91–112.
- Ferus, P. and Arkosiova, M. (2001) 'Variability of chlorophyll content under fluctuating environment', *Acta fytotechnica et zootechnica*, 4(2), pp. 123–125.
- Fletcher, R. A. *et al.* (2000) 'Triazoles as plant growth regulators and stress protectants', in Janick, J. (ed.) *Horticultural Reviews*. John Wiley & Sons, pp. 55–138.
- Foyer, C. H. and Halliwell, B. (1976) 'The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: A proposed role in ascorbic acid metabolism', *Planta*, 133(1), pp. 21–25.
- Fricke, W. *et al.* (2004) 'Rapid and tissue-specific changes in ABA and in growth rate in response to salinity in barley leaves', *Journal of Experimental Botany*, 55(399), pp. 1115–1123. doi: 10.1093/jxb/erh117.
- Fuller, M. F. (2004) 'Barley', *The Encyclopedia of Farm Animal Nutrition*. Fuller, M. Edited by M. F. Fuller. Cabi.
- Gallais, A. and Bannerot, H. (1992) *Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection*. INRA. Quae.

- García-Sánchez, F. *et al.* (2002) 'Gas exchange, chlorophyll and nutrient contents in relation to Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> accumulation in 'Sunburst' mandarin grafted on different rootstocks', *Plant Science*, 162(5), pp. 705–712.
- Gholamreza, A., Mohammadi, M. and Hedayat, M. (2011) 'Effect of salicylic acid on Na<sup>+</sup> accumulation in shoot and roots of tomato in different K<sup>+</sup> status', *J. Biol. Environ. Sci.*, 5(13), pp. 31–35.
- Ghoulam, C., Foursy, A. and Fares, K. (2002) 'Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars', *Environmental and Experimental Botany*, 47(1), pp. 39–50. doi: 10.1016/S0098-8472(01)00109-5.
- Gill, K. S. and Dutt, S. K. (1982) 'Effect of salinity on stomatal number, size and opening in barley Genotypes', *Biologia Plantarum*, 24(4), pp. 266–269. doi: 10.1007/BF02879457.
- Gill, S. S. and Tuteja, N. (2010) 'Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants', *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), pp. 909–930. doi: 10.1016/j.plaphy.2010.08.016.
- Gomes, M. A. da C. *et al.* (2017) 'Salinity effects on photosynthetic pigments, proline, biomass and nitric oxide in *Salvinia auriculata* Aubl.', *Acta Limnologica Brasiliensia*, 29(0), pp. 1–13. doi: 10.1590/s2179-975x4716.
- Gorham, J., Jones, R. G. W. Y. N. and McDonnell, E. (1985) 'Some mechanisms of salt tolerance in crop plants', in *Biosalinity in Action: Bioproduction with Saline Water*. Springer Netherlands, pp. 15–40.
- Gouis, J. Le (1992) 'A comparison between two- and six-row winter barley genotypes for above-ground dry matter production and distribution', *Agronomie*, 12, pp. 163–173.
- Grattan, S. *et al.* (2002) 'Rice is more sensitive to salinity than previously thought', *California Agriculture*, 56(6), pp. 189–195.
- Grattan, S. R. and Grieve, C. M. (1999a) 'Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments', in Pessarakli, M. (ed.) *Handbook of plant and crop stress*. Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 203–229.
- Grattan, S. R. and Grieve, C. M. (1999b) 'Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops', *Scientia Horticulturae*, 78, pp. 127–157.
- Grattan, S. R. (1994) 'Irrigation with Saline Water', in Tanji, K. K. and Yaron, B. (eds) *Management of Water Use in Agriculture*. Berlin (Germany), Springer Verlag, pp. 179–198.
- Grieve, C. M., Francois, L. E. and Poss, J. A. (2001) 'Effect of salt stress during early seedling growth on phenology and yield of spring wheat', *Cereal Research Communications*, 29(1), pp. 167–174.
- Gros, A. (1979) *Engrais: guide pratique de la fertilisation*. La Maison Rustique paris. 382p.
- Guo, R. *et al.* (2010) 'Effects of saline and alkaline stress on germination, seedling growth, and ion balance in wheat', *Agronomy Journal*, 102(4), pp. 1252–1260. doi: 10.2134/agronj2010.0022.
- Guo, Z. and Schnurbusch, T. (2016) 'Costs and benefits of awns', *Journal of Experimental Botany*, 67(9), pp. 2533–2535. doi: 10.1093/jxb/erw140.
- Hafez, E. M. *et al.* (2015) 'Effect of Gypsum Application and Irrigation Intervals on Clay Saline-Sodic Soil Characterization, Rice Water Use Efficiency, Growth, and Yield', *Journal of Agricultural Science*, 7(12), p. 208. doi: 10.5539/jas.v7n12p208.
- Hajihashemi, S. *et al.* (2007) 'Exogenously applied paclobutrazol modulates growth in salt-stressed wheat plants', *Plant Growth Regulation*, 53(2), pp. 117–128. doi: 10.1007/s10725-007-9209-8.
- Hakim, M. a *et al.* (2010) 'Effect of salt stress on germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.)', *African journal of biotechnology*, 9(13), pp. 1911–1918. doi: 10.5897/AJB09.1526.
- Halitim, A. (1973) *Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture*. Thèse 3eme cycle. Univ. de Rennes. 176p.
- Hamayun, M. *et al.* (2010) 'Exogenous gibberellic acid reprograms soybean to higher growth and salt stress tolerance', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(12), pp. 7226–7232. doi: 10.1021/jf101221t.
- Hamdy, A. (2002) 'Saline irrigation management for a sustainable use', *Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches*, 36, pp. 185–230.
- Hamdy, A. and Cosimo, L. (2005) *Coping with Water Scarcity in the Mediterranean: What, Why and How?* CIHEAM Mediterranean Agronomic Institute Bari-Italy. 739p.
- Hamrouni, L. *et al.* (2011) 'Exclusion du chlorure et inclusion du sodium: Deux mécanismes concomitants de tolérance à la salinité chez la vigne sauvage *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris* (var. 'séjène')', *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 15(3), pp. 387–400.
- Hanson, Blaine (2006) 'Reducing the Salt Load Through Drainage System Design', in Hanson, B., Grattan, S. R., and Fulton, A. (eds) *Agricultural Salinity and Drainage*. University of California Irrigation Program, University of California, Davis., pp. 139–140.

- Haouala, F., Ferjani, H. and El Hadj, S. Ben (2007) 'Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup>) et du chlore (Cl<sup>-</sup>) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent', *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 11(3), pp. 407–416.
- Hare, P. D., Cress, W. A. and Van Staden, J. (1998) 'Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress', *Plant, Cell and Environment*, 21(6), pp. 535–553. doi: 10.1046/j.1365-3040.1998.00309.x.
- Harlan, J. R. and Zohary, D. (1966) 'Distribution of wild wheats and barley.', *Science (New York, N.Y.)*, 153(3740), pp. 1074–80. doi: 10.1126/science.153.3740.1074.
- Harries, D. and Rösgen, J. (2008) 'A Practical Guide on How Osmolytes Modulate Macromolecular Properties', in *Methods in Cell Biology*, pp. 679–735. doi: 10.1016/S0091-679X(07)84022-2.
- Harris, B. N., Sadras, V. O. and Tester, M. (2010) 'A water-centred framework to assess the effects of salinity on the growth and yield of wheat and barley', *Plant and Soil*, 336(1), pp. 377–389. doi: 10.1007/s11104-010-0489-9.
- Hasanuzzaman, M. and Fujita, M. (2012) 'Selenium and plant health: The physiological role of selenium', in Aomori C, H. M. (ed.) *Selenium: sources, functions and health effects*. New York: Nova Publishers, pp. 101–122.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K. and Fujita, M. (2013) 'Plant Response to Salt Stress and Role of Exogenous Protectants to Mitigate Salt-Induced Damages', in P. Ahmad et al. (ed.) *Ecophysiology and responses of plants under salt stress*, pp. 25–87. doi: 10.1007/978-1-4614-4747-4.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K. and Fujita, M. (2014) 'Chapter 12 - Role of Tocopherol (Vitamin E) in Plants: Abiotic Stress Tolerance and Beyond', in Ahmad, P. and Rasool, S. (eds) *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance*. San Diego: Academic Press, pp. 267–289. doi: http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-800875-1.00012-0.
- Hasegawa, P. M. et al. (2000) 'Plant cellular and molecular responses to high salinity', *Annual review of plant biology*, 51(1), pp. 463–499.
- Hauser, F. and Horie, T. (2010) 'A conserved primary salt tolerance mechanism mediated by HKT transporters: A mechanism for sodium exclusion and maintenance of high K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> ratio in leaves during salinity stress', *Plant, Cell and Environment*, 33(4), pp. 552–565. doi: 10.1111/j.1365-3040.2009.02056.x.
- Hawrylak-Nowak, B. (2009) 'Beneficial effects of exogenous selenium in cucumber seedlings subjected to salt stress', *Biological Trace Element Research*, 132(1–3), pp. 259–269. doi: 10.1007/s12011-009-8402-1.
- Hayat, S. et al. (2000) 'Photosynthetic rate, growth, and yield of mustard plants sprayed with 28-homobrassinolide', *Photosynthetica*, 38(3), pp. 469–471. doi: 10.1023/A:1010954411302.
- Hayat, S. et al. (2012) 'Role of proline under changing environments: A review', *Plant Signaling and Behavior*, 7(11), pp. 1456–1466. doi: 10.4161/psb.21949.
- Heidari, M. and Jamshid, P. (2010) 'Interaction between salinity and potassium on grain yield, carbohydrate content and nutrient uptake in pearl millet', *ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science*, 5(6), pp. 39–46.
- Hellebust, J. A. (1976) 'Osmoregulation', *Ann. Rev. Plant Physiol*, 27, pp. 485–505.
- Henry, R. J. (1988) 'The carbohydrates of barley grains—A review', *Journal of the Institute of Brewing*, 94(2), pp. 71–78.
- Hentour, S. et al. (2022) 'Salinity effect on seed germination in doubled haploid and parental barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.)', *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 28(5), pp. 882–888.
- Hernandez, M. et al. (2010) 'A different role for hydrogen peroxide and the antioxidative system under short and long salt stress in *Brassica oleracea* roots', *Journal of Experimental Botany*, 61(2), pp. 521–535. doi: 10.1093/jxb/erp321.
- Hessini, K. et al. (2015) 'How does salinity duration affect growth and productivity of cultivated barley?', *Agronomy Journal*, 107(1), pp. 174–180. doi: 10.2134/agronj14.0281.
- Heuer, B. and Nadler, A. (1995) 'Growth and development of potatoes under salinity and water deficit', *Australian Journal of Agricultural Research*, 46(7), pp. 1477–1486. doi: 10.1071/AR9951477.
- Hilal, M. H. et al. (2013) 'Effect of magnetic treated irrigation water on salt removal from a sandy soil and on the availability of certain nutrients', *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(2), pp. 36–44.
- Hiouani, F. and Bensaid, R. (2009) 'Effet de la salinité sur la rétention en eau des sols gypseux de la région d'Ain-Benoui (Biskra)', *Courrier du savoir*, 9(1), pp. 85–89.
- Hnilíčková, H. et al. (2019) 'Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> content in selected plant species', *Plant, Soil and Environment*, 65(3), pp. 90–96. doi: https://doi.org/10.17221/620/2018-PSE.
- Hopmans, J. W. et al. (2021) *Critical knowledge gaps and research priorities in global soil salinity*, *Advances in Agronomy*. doi: 10.1016/bs.agron.2021.03.001.
- Horneck, D. a et al. (2007) *Managing Salt - affected Soils for Crop Production*, Oregon State University Extension Service. 24p.

- Hossain, M. A. *et al.* (2011) 'Involvement of endogenous abscisic acid in methyl jasmonate-induced stomatal closure in Arabidopsis.', *Plant physiology*, 156(1), pp. 430–438. doi: 10.1104/pp.111.172254.
- Houimli, S. I.-M., Denden, M. and Ben-El-Hadj, S. (2008) 'Induction of salt tolerance in pepper (*Capsicum annuum*) by 24-epibrassinolide', *Journal of Biosciences*, 90, pp. 83–90.
- Hsu, S. Y. and Kao, C. H. (2003) 'Differential effect of sorbitol and polyethylene glycol on antioxidant enzymes in rice leaves', *Plant Growth Regulation*, 39(1), pp. 83–90. doi: 10.1023/A:1021830926902.
- Hu, Y. and Schmidhalter, U. (2005) 'Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants', *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), pp. 541–549. doi: 10.1002/jpln.200420516.
- Huang, B., Wu, W. and Hong, Z. (2021) 'Genetic loci underlying awn morphology in barley', *Genes*, 12(10), p. 1613. doi: 10.3390/genes12101613.
- Huang, Y. *et al.* (2007) 'Interaction of salinity and cadmium stresses on mineral nutrients, sodium, and cadmium accumulation in four barley genotypes.', *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 8(7), pp. 476–485. doi: 10.1631/jzus.2007.B0476.
- Hussain, M. I. *et al.* (2022) 'Morpho-physiological response of barley to assess genotypic differences of salinity tolerance under hyper arid climate', *Agricultural Water Management*, 272(May), p. 107832. doi: 10.1016/j.agwat.2022.107832.
- Hussain, T. M. *et al.* (2008) 'Recent advances in salt stress biology – a review', *Biotechnology and Molecular Biology Review*, 3(1), pp. 8–13.
- Ibn Maaouia-houimli, S. *et al.* (2011) 'Caractéristiques de la croissance et de la production en fruits chez trois variétés de piment (*Capsicum annuum* L.) sous stress salin', *Tropicicultura*, 29(2), pp. 75–81.
- Ibrahim, G. A. Z. and Hegab, R. H. (2022) 'Improving yield of Barley using bio and nano fertilizers under saline conditions', *Egyptian Journal of Soil Science*, 62(1), pp. 41–53. doi: 10.21608/ejss.2022.124377.1496.
- Ibriz, M. *et al.* (2005) 'Effet de la salinité sur le rendement en biomasse et la composition en éléments minéraux d'écotypes marocains de luzerne (*Medicago sativa* L.)', *Alawamia*, 2(3), pp. 107–119.
- Ilyas, M., Qureshi, R. H. and Qadir, M. a. (1997) 'Chemical changes in a saline-sodic soil after gypsum application and cropping', *Soil Technology*, 10, pp. 247–260. doi: 10.1016/S0933-3630(96)00121-3.
- INSID (2008) *Les sols salins en algerie*. Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage. 7p.
- Iqbal, M. *et al.* (2006) 'Does seed priming induce changes in the levels of some endogenous plant hormones in hexaploid wheat plants under salt stress?', *Journal of Integrative Plant Biology*, 48(2), pp. 181–189. doi: 10.1111/j.1744-7909.2006.00181.x.
- Iqbal, M. and Ashraf, M. (2013) 'Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis', *Environmental and Experimental Botany*, 86, pp. 76–85. doi: 10.1016/j.envexpbot.2010.06.002.
- Iqbal, M., Ashraf, M. and Jamil, A. (2006) 'Seed enhancement with cytokinins: Changes in growth and grain yield in salt stressed wheat plants', *Plant Growth Regulation*, 50(1), pp. 29–39. doi: 10.1007/s10725-006-9123-5.
- Iqbal, N., Umar, S. and Khan, N. A. (2015) 'Nitrogen availability regulates proline and ethylene production and alleviates salinity stress in mustard (*Brassica juncea*)', *Journal of Plant Physiology*, 178, pp. 84–91. doi: 10.1016/j.jplph.2015.02.006.
- Ismail, A. M. A. (1993) 'A critical analysis of "harvest index"', *Qatar University Science Journal*, 13(2), pp. 253–263.
- Izadi, M. H. *et al.* (2014) 'Effects of Salinity Stress on Physiological Performance of Various Wheat and Barley Cultivars', *Journal of Plant Nutrition*, 37(4), pp. 520–531. doi: 10.1080/01904167.2013.867980.
- Jampeetong, A. and Brix, H. (2009) 'Effects of NaCl salinity on growth, morphology, photosynthesis and proline accumulation of *Salvinia natans*', *Aquatic Botany*, 91(3), pp. 181–186. doi: 10.1016/j.aquabot.2009.05.003.
- Jamshidi, A. and Javanmard, H. R. (2018) 'Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes for salinity tolerance under field conditions using the stress indices', *Ain Shams Engineering Journal*. Ain Shams University, 9(4), pp. 2093–2099. doi: 10.1016/j.asej.2017.02.006.
- Janda, T. *et al.* (2007) 'Role Of Salicylic Acid In The Induction Of Abiotic Stress Tolerance', in *Salicylic acid: a plant hormone*. Springer Netherlands, pp. 91–150.
- Janzen, H. H. and Chang, C. (1987) 'Cation nutrition of barley as influenced by soil solution composition in a saline soil', *Canadian Journal of Soil Science*, 67(3), pp. 619–629.
- Javid, M. G. *et al.* (2011) 'The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants', *Australian Journal of Crop Science*, 5(6), pp. 726–734.
- Jiang, Q. *et al.* (2006) 'Gas exchange, chlorophyll fluorescence parameters and carbon isotope discrimination of 14 barley genetic lines in response to salinity', *Field Crops Research*, 96(2–3), pp. 269–278. doi: 10.1016/j.fcr.2005.07.010.
- Jlassi, I., Selliti, Y. and El-Gazzah, M. (2014) 'Effects of salt stress on growth seedlings of two landrace varieties of durum wheat from the Tunisian centre (*Triticum durum*)', *African Journal of Agricultural Research*, 9(33), pp. 2528–2539. doi:

10.5897/AJAR2014.8890.

Job, J. O., Tabbagh, A. and Hachicha, M. (1995) 'Détermination par méthode électromagnétique de la concentration en sel d'un sol irrigué', *Canadian Journal of Soil Science*, 75(4), pp. 463–469.

Jonard, P. (1964) 'Etude comparative de la croissance de deux variétés de blé tendre', *Ann. Amél. Plant.*, 14(2), pp. 101–130.

Kader, A. and Lindberg, S. (2008) 'Cellular traits for sodium tolerance in rice (*Oryza sativa* L.)', *Plant Biotechnology*, 25(3), pp. 247–255. doi: 10.5511/plantbiotechnology.25.247.

Kader, M. A. and Lindberg, S. (2010) 'Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress.', *Plant signaling & behavior*, 5(3), pp. 233–238. doi: 10.4161/psb.5.3.10740.

Kadri, K. *et al.* (2009) 'Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques accessions tunisiennes d'orge (*Hordeum vulgare* L.)', *Sciences & Technologie C*, 29, pp. 72–79.

Kalaji, H. M. *et al.* (2011) 'Effects of salt stress on photosystem II efficiency and CO<sub>2</sub> assimilation of two Syrian barley landraces', *Environmental and Experimental Botany*, 73(1), pp. 64–72. doi: 10.1016/j.envexpbot.2010.10.009.

Kandil, a. a. *et al.* (2014) 'Effect of Gibberellic Acid on Germination Behaviour of Sugar Beet Cultivars under Salt Stress Conditions of Egypt', *Sugar Tech*, 16(2), pp. 211–221. doi: 10.1007/s12355-013-0252-7.

Kang, D. *et al.* (2005) 'Crop / Stress Physiology Jasmonic Acid Differentially Affects Growth, Ion Uptake and Abscisic Acid Concentration in Salt-tolerant and Salt-sensitive Rice Cultivars', *J. Agronomy & Crop Science*, 191, pp. 273–282.

Karley, a J., Leigh, R. a and Sanders, D. (2000) 'Differential ion accumulation and ion fluxes in the mesophyll and epidermis of barley.', *Plant physiology*, 122(3), pp. 835–844. doi: 10.1104/pp.122.3.835.

Katsuhara, M. and Kawasaki, T. (1996) 'Salt Stress Induced Nuclear and DNA Degradation in Meristematic Cells of Barley Roots', *Plant and Cell Physiology*, 37(2), pp. 169–173. doi: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a028928.

Kattab, H. (2007) 'Role of glutathione and polyadenylic acid on the oxidative defense systems of two different cultivars of canola seedlings grown under saline condition', *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(3), pp. 323–334.

Kaya, C. *et al.* (2013) 'Alleviation of salt stress-induced adverse effects on maize plants by exogenous application of indoleacetic acid (IAA) and inorganic nutrients - A field trial', *Australian Journal of Crop Science*, 7(2), pp. 249–254.

Kaya, C., Tuna, A. L. and Okant, A. M. (2010) 'Effect of foliar applied kinetin and indole acetic acid on maize', *Turk J Agric For*, 34, pp. 529–538. doi: 10.3906/tar-0906-173.

Kazan, K. and Lyons, R. (2016) 'The link between flowering time and stress tolerance', *Journal of Experimental Botany*, 67(1), pp. 47–60. doi: 10.1093/jxb/erv441.

Keiffer, C. H. and Ungar, I. A. (1997) 'The effects of density and salinity on shoot biomass and ion accumulation in five inland halophytic species', *Canadian Journal of Botany*, 75(1), pp. 96–107. doi: 10.1139/b97-012.

Kempa, S. *et al.* (2008) 'A central role of abscisic acid in stress-regulated carbohydrate metabolism', *PLOS ONE*, 3(12), pp. 1–9. doi: 10.1371/journal.pone.0003935.

Kerstiens, G. *et al.* (2002) 'Sodium-related partial stomatal closure and salt tolerance of *Aster tripolium*', *New Phytologist*, 153, pp. 509–515.

Khaldoun, A. (1989) 'Etude du comportement de l'orge exploitée à double fin', *Fourrages (Versailles)*, (117), pp. 77–87.

Khalid, S. *et al.* (2013) 'Effect of Indole acetic acid (IAA) on morphological, biochemical and chemical attributes of two varieties of maize (*Zea mays* L.) under salt stress', *World Applied Sciences Journal*, 26(9), pp. 1150–1159. doi: 10.5829/idosi.wasj.2013.26.09.13549.

Khan, M. N. *et al.* (2012) 'Interactive role of nitric oxide and calcium chloride in enhancing tolerance to salt stress', *Nitric Oxide - Biology and Chemistry*. Elsevier Inc., 27(4), pp. 210–218. doi: 10.1016/j.niox.2012.07.005.

Khatkar, D. and Kuhad, M. S. (2000) 'Short-term salinity induced changes in two wheat cultivars at different growth stages', *Biologia Plantarum*, 43(4), pp. 629–632. doi: 10.1023/A:1002868519779.

Khedr, A. H. A. *et al.* (2003) 'Proline induces the expression of salt-stress-responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancreaticum maritimum* L. to salt-stress', *Journal of Experimental Botany*, 54(392), pp. 2553–2562. doi: 10.1093/jxb/erg277.

Khosravinejad, F., Heydari, R. and Farboodnia, T. (2008) 'Effects of salinity on photosynthetic pigments, respiration, and water content in two barley varieties', *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11(20), pp. 2438–2442. doi: 10.3923/pjbs.2008.2438.2442.

Khosravinejad, F., Heydari, R. and Farboodnia, T. (2009) 'Effect of salinity on organic solutes contents in barley', *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 12(2), pp. 158–162. doi: 10.3923/pjbs.2009.158.162.

Kinnersley, A. M. and Turano, F. J. (2000) 'Gamma aminobutyric acid (GABA) and plant responses to stress', *Critical Reviews in Plant Sciences*, 19(6), pp. 479–509.

Kirkham, M. B. *et al.* (1980) 'Resistance to water loss of winter wheat flag leaves', *Cereal Research Communications*, 8, pp.

- Klepper, B., Rickman, R. W. and Peterson, C. M. (1982) 'Quantitative characterization of vegetative development in small cereal grains.', *Agronomy Journal*, 75(5), pp. 789–792.
- Kocheva, K. and Georgiev, G. (2003) 'Evaluation of the reaction of two contrasting barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars in response to osmotic stress with PEG 6000', *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 49(Special Issue), pp. 290–294.
- Kohan, M. Z. *et al.* (2016) 'Investigation of the relationship between grain yield with studied traits under normal and salt stress conditions in barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) using multivariate analysis', *Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences*, 2(18), pp. 18–31.
- Krasensky, J. and Jonak, C. (2012) 'Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks', *Journal of Experimental Botany*, 63(4), pp. 1593–1608. doi: 10.1093/jxb/err460.
- Krishna, P. (2003) 'Brassinosteroid-Mediated Stress Responses', *Journal of Plant Growth Regulation*, 22(4), pp. 289–297. doi: 10.1007/s00344-003-0058-z.
- Kronzucker, H. J. *et al.* (2008) 'Non-reciprocal interactions between K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup> ions in barley (*Hordeum vulgare* L.)', *Journal of Experimental Botany*, 59(10), pp. 2793–2801. doi: 10.1093/jxb/ern139.
- Laaziza, B. K., Ouarragi, E. M. and Zid, E. (2007) 'Impact du NaCl sur la croissance et la nutrition de la variété de blé dur Massa cultivée en milieu hydroponique', *Acta Botanica Gallica*, 154(1), pp. 101–116. doi: 10.1080/12538078.2007.10516047.
- Lacharme, M. (2001) 'Le contrôle de la salinité dans les rizières', *Mémento Technique de Riziculture*, Fascicule(9), p. 20.
- Lakhdar, A. *et al.* (2009) 'Effectiveness of compost use in salt-affected soil', *Journal of Hazardous Materials*, 171(1–3), pp. 29–37. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.05.132.
- Läuchli, a and Grattan, S. R. (2007) 'Plant growth and development under salinity stress', *Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops*, pp. 1–32.
- Lebon, E. *et al.* (2004) 'Shoot development in grapevine (*Vitis vinifera*) is affected by the modular branching pattern of the stem and intra-and inter-shoot trophic competition', *Annals of Botany*, 93(3), pp. 263–274.
- Legros, J. P. (2012) *Soil Groups Major Soil Groups Major: ecology, genesis, properties and classification*. CRC Press. 570p.
- Lehmann, J. *et al.* (1995) 'Accumulation of jasmonate, abscisic acid, specific transcripts and proteins in osmotically stressed barley leaf segments', *Planta*, 197(1), pp. 156–162. doi: 10.1007/BF00239952.
- Levigneron, A. *et al.* (1995) 'Les plantes face au stress salin', *Cahiers Agricultures*, 4, pp. 263–273.
- Liang, Y. (1997) 'Effect of silicon on leaf ultrastructure, chlorophyll content and photosynthetic activity of barley under salt stress', *Pedosphere*, 8(4), pp. 289–296.
- Liang, Y. *et al.* (2003) 'Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.)', *Journal of plant physiology*, 160(10), pp. 1157–1164. doi: 10.1078/0176-1617-01065.
- Liang, Y. *et al.* (2007) 'Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review', *Environmental Pollution*, 147(2), pp. 422–428. doi: 10.1016/j.envpol.2006.06.008.
- Liu, J. *et al.* (2005) 'Effects of exogenous polyamines on chloroplast-bound polyamine content and photosynthesis of corn suffering salt stress', *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 26(2), pp. 254–258.
- Lu, Y. *et al.* (2018) 'Effect of water salinity on the water retention curve of geosynthetic clay liners', *Geotextiles and Geomembranes*, 46(6), pp. 707–714. doi: 10.1016/j.geotextmem.2018.07.002.
- Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J. (1996) 'Effects of various salts and of mannitol on ion and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza Sativa* L.) callus cultures', *Journal of Plant Physiology*, 149(1–2), pp. 186–195. doi: 10.1016/S0176-1617(96)80193-3.
- Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J. (1996) 'NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance', *Annals of Botany*, 78(3), pp. 389–398. doi: 10.1006/anbo.1996.0134.
- Lynch, J. and Läuchli, A. (1984) 'Potassium transport in salt-stressed barley roots', *Planta*, 161(4), pp. 295–301. doi: 10.1007/BF00398718.
- Maas, E. V. *et al.* (1994) 'Tiller development in salt-stressed wheat', *Crop Science*, 34(6), pp. 1594–1603. doi: 10.2135/cropsci1994.0011183X003400060032x.
- Maas, E. V and Poss, J. A. (1989) 'Salt sensitivity of cowpea at various growth stages', *Irrigation Science*, 10(1), pp. 29–40.
- Maathuis, F. J. M. and Amtmann, A. (1999) 'K<sup>+</sup> nutrition and Na<sup>+</sup> toxicity: The basis of cellular K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> ratios', *Annals of Botany*, 84(2), pp. 123–133. doi: 10.1006/anbo.1999.0912.
- Madić, M. and Paunović, A. S. (2009) 'Grain Yield And Yield Components Of Two-Row Winter Barley Cultivars And Lines', *Acta Agriculturae Serbica*, XIV(27), pp. 17–22.

- MADR (2021) *Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information, Statistique agricole: superficie et production. Serie 'B'. 87p.*
- Mahajan, S., Pandey, G. K. and Tuteja, N. (2008) 'Calcium- and salt-stress signaling in plants: Shedding light on SOS pathway', *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 471(2), pp. 146–158. doi: 10.1016/j.abb.2008.01.010.
- Mahdy, A. M. (2011) 'Comparative Effects of Different Soil Amendments on Amelioration of Saline-Sodic Soils', *Soil & Water Res.*, 6(4), pp. 205–216.
- Maheshwari, B. L. and Grewal, H. S. (2009) 'Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity', *Agricultural Water Management*, 96(8), pp. 1229–1236. doi: 10.1016/j.agwat.2009.03.016.
- Mahlooji, M. *et al.* (2018) 'Effect of salt stress on photosynthesis and physiological parameters of three contrasting barley genotypes', *Photosynthetica*, 56(2), pp. 549–556. doi: 10.1007/s11099-017-0699-y.
- Mahmoudi, H. *et al.* (2011) 'Varied tolerance to NaCl salinity is related to biochemical changes in two contrasting lettuce genotypes', *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(5), pp. 1613–1622. doi: 10.1007/s11738-010-0696-2.
- Majd, A. and Shhbazi, M. (1996) 'The effects of salt stress on the shoot apical meristem and leaf generation in sunflower (*Helianthus annuus* L.)', *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 7(3), pp. 137–143.
- Majid, A. *et al.* (2013) 'The Effects of Different Levels of Salinity and Indole-3-Acetic Acid (IAA) on Early Growth and Germination of Wheat Seedling', *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 9(4), pp. 329–338.
- Manivannan, P. *et al.* (2008) 'Protection of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. plants from salt stress by paclobutrazol', *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 61(2), pp. 315–318. doi: 10.1016/j.colsurfb.2007.09.007.
- Mansour, E. *et al.* (2021) 'Field responses of barley across a salinity gradient in an arid Mediterranean environment', *Agricultural Water Management*, 258(107206), pp. 1–11. doi: 10.1016/j.agwat.2021.107206.
- Mansour, M. M. F. and Ali, E. F. (2017) 'Evaluation of proline functions in saline conditions', *Phytochemistry*, 140, pp. 52–68. doi: 10.1016/j.phytochem.2017.04.016.
- Mansour, M. M. F. and Salama, K. H. A. (2004) 'Cellular basis of salinity tolerance in plants', *Environmental and Experimental Botany*, 52(2), pp. 113–122. doi: 10.1016/j.envexpbot.2004.01.009.
- Masmoudi, A. (2011) 'Effet de la salinité des eaux et la fréquence d'irrigation sur le sol et le végétal', *Courrier du savoir*, 11(Février), pp. 61–69.
- Masmoudi, A. (2012) *Problèmes de la salinité liés à l'irrigation dans la région Saharienne : Cas des Oasis des Ziban. these doct.* Département des sciences agronomiques. Université Mohamed Khider Biskra. 139p.
- McKevith, B. (2004) 'Nutritional aspects of cereals', *Nutrition Bulletin*, 29(2), pp. 111–142. doi: 10.1111/j.1467-3010.2004.00418.x.
- Mezni, M., Bizid, E. and Hamza, M. (1999) 'Effets de la salinité des eaux d'irrigation sur la survie et la croissance de trois cultivars de luzerne pérenne', *Fourrages(Versailles)*, 158, pp. 169–178.
- Mian, A. *et al.* (2011) 'Over-expression of an Na<sup>+</sup>- and K<sup>+</sup>-permeable HKT transporter in barley improves salt tolerance', *Plant Journal*, 68(3), pp. 468–479. doi: 10.1111/j.1365-313X.2011.04701.x.
- Michel, M. K., John, B. M. and Jules, K. N. (2015) 'Effets de doses croissantes de NaCl sur le comportement du bananier et la morpho diversité de champignons du sol', *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10(4), pp. 1150–1155.
- Mohamed, A. A., Matter, M. A. and Saker, M. M. (2010) 'Effect of salt stress on some defense mechanisms of transgenic and wild potato clones (*Solanum tuberosum* L.) grown in vitro', *Nature and Science*, 8(12), pp. 181–193.
- Morrell, P. L. and Clegg, M. T. (2007) 'Genetic evidence for a second domestication of barley (*Hordeum vulgare*) east of the Fertile Crescent.', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, pp. 3289–3294. doi: 10.1073/pnas.0611377104.
- Movafegh, S., Jadid, R. R. and Kiabi, S. (2012) 'Effect of salinity stress on chlorophyll content, proline, water soluble carbohydrate, germination, growth and dry weight of three seedling barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars', *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 8(4), pp. 157–168.
- Muhebbullah, M. *et al.* (2014) 'Impact Of Salinity Stress On Seed Germination Indices Of Maize (*Zea mays* L.) Genotypes', *Kragujevac Journal of Science*, 36, pp. 155–166.
- Munné-Bosch, S. (2005) 'The role of  $\alpha$ -tocopherol in plant stress tolerance', *Journal of Plant Physiology*, 162(7), pp. 743–748. doi: 10.1016/j.jplph.2005.04.022.
- Munns, R. (1993) 'Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses', *Plant, Cell & Environment*, 16(1), pp. 15–24. doi: 10.1111/j.1365-3040.1993.tb00840.x.
- Munns, R. (2002) 'Comparative physiology of salt and water stress', *Environment*, pp. 239–250.
- Munns, R. (2005) 'Genes and salt tolerance: Bringing them together', *New Phytologist*, 167(3), pp. 645–663. doi:

10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x.

- Munns, R. and Rawson, H. M. (1999) 'Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley', *Australian Journal of Plant Physiology*, 26(5), pp. 459–464. doi: 10.1071/PP99049.
- Munns, R. and Tester, M. (2008) 'Mechanisms of salinity tolerance.', *Annual review of plant biology*, 59, pp. 651–681. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911.
- Mur, L. a J. *et al.* (2013) 'Nitric oxide in plants: An assessment of the current state of knowledge', *AoB plants*, 5, pp. 1–17. doi: 10.1093/aobpla/pls052.
- Muthukumarasamy, M. and Panneerselvam, R. (1997) 'Amelioration of NaCl stress by triadimefon in peanut seedlings', *Plant Growth Regulation*, 22, pp. 157–162. doi: 10.1023/A:1001737221832.
- Naseer, S. (2001) 'Response of Barley (*Hordeum vulgare* L.) at Various Growth Stages to Salt Stress', *Journal of Biological Sciences*, 1(5), pp. 326–329.
- Nazar, R. *et al.* (2011) 'Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars', *Journal of Plant Physiology*, 168(8), pp. 807–815. doi: 10.1016/j.jplph.2010.11.001.
- Nazarbeygi, E. *et al.* (2011) 'The Effects of Different Levels of Salinity on Proline and A-, B- Chlorophylls in Canola', *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 10(1), pp. 70–74.
- Negrão, S., Schmöckel, S. M. and Tester, M. (2017) 'Evaluating physiological responses of plants to salinity stress', *Annals of Botany*, 119(1), pp. 1–11. doi: 10.1093/aob/mcw191.
- Nia, S. H. *et al.* (2012) 'Yield and yield components of wheat as affected by salinity and inoculation with *Azospirillum* strains from saline or non-saline soil', *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. King Saud University & Saudi Society of Agricultural Sciences, 11(2), pp. 113–121. doi: 10.1016/j.jssas.2012.02.001.
- Nilsen, E. T., & Orcutt, D. M. (1996) *The physiology of plants under stress – abiotic factors*. New York. pp 118-130: Wiley.
- Nounjan, N., Nghia, P. T. and Theerakulpisut, P. (2012) 'Exogenous proline and trehalose promote recovery of rice seedlings from salt-stress and differentially modulate antioxidant enzymes and expression of related genes', *Journal of Plant Physiology*, 169(6), pp. 596–604. doi: 10.1016/j.jplph.2012.01.004.
- O'Toole, J. C. and Cruz, R. T. (1980) 'Response of Leaf Water Potential, Stomatal Resistance, and Leaf Rolling to Water Stress', *Plant Physiology*, 65(3), pp. 428–432. doi: 10.1104/pp.65.3.428.
- Omar, M. N. A. *et al.* (2009) 'Improvement of Salt Tolerance Mechanisms of Barley Cultivated Under Salt Stress Using *Azospirillum brasilense*', in *Salinity and water stress*. Springer, Dordrecht., pp. 133–147. doi: 10.1007/978-1-4020-9065-3\_15.
- Osman, E. A. M. *et al.* (2014) 'Assessing the effect of irrigation with different levels of saline magnetic water on growth parameters and mineral contents of pear seedlings', *Global Journal of Scientific Researches*, 2(5), pp. 128–136.
- Othman, Y. (2006) 'Variation in Germination and Ion Uptake in Barley Genotypes under Salinity Conditions', *World J. Agric. Sci.*, 2(1), pp. 11–15.
- Ouazzani, C. and Moustaghfir, A. (2020) 'Accumulation des sucres dans les tiges et les feuilles de différentes variétés de tournesol exposées à l'environnement salin', *Journal of Applied Biosciences*, 154, pp. 15905–15912. doi: 10.35759/jabs.154.7.
- Oubaidou, R. *et al.* (2021) 'Evaluating salt tolerance in doubled haploid barley lines using a multivariable screening approach', *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 35(May). doi: 10.1016/j.bcab.2021.102060.
- Ouhaddach, M. *et al.* (2018) 'Morpho-Physiological and Biochemical Responses to Salt Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.) at the Heading Stage', *Environ. Sci.*, 7(9), pp. 3084–3099. doi: 10.26872/jmes.2018.9.6.209.
- Ould Ahmed, B. A., Inoue, M. and Moritani, S. (2010) 'Effect of saline water irrigation and manure application on the available water content, soil salinity, and growth of wheat', *Agricultural Water Management*, 97(1), pp. 165–170. doi: 10.1016/j.agwat.2009.09.001.
- Öztürk, M. *et al.* (2006) 'Alleviation of Salinity Stress in the Seeds of Some Brassica Species', in *Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants*. Springer Science & Business Media, pp. 145–156.
- Panneerselvam, R., Muthukumarasamy, M. and Rajan, S. N. (1998) 'Amelioration of NaCl stress by triadimefon in soybean seedlings', *Biologia Plantarum*, 41(1), pp. 133–137. doi: 10.1023/A:1001737221832.
- Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) 'Salt tolerance and salinity effects on plants: A review', *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), pp. 324–349. doi: 10.1016/j.ecoenv.2004.06.010.
- Patel, A. D., Bhensdadia, H. and Pandey, A. N. (2009) 'Effect of salinisation of soil on growth, water status and general nutrient accumulation in seedlings of *Delonix regia* (Fabaceae)', *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, 29(2), pp. 109–115. doi: 10.1016/j.chnaes.2009.05.005.
- Paul, M., Planchton, C. and Ecochard, R. (1979) 'Etude des relations entre le développement foliaire, le cycle de développement et la productivité chez le soja', *Ann. amélio. Plants*, 2, pp. 479–492.

- Pessaraki, M. (1991) 'Formation of saline and sodic soils and their reclamation', *Journal of Environmental Science and Health . Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology*, 26(7), pp. 1303–1320. doi: 10.1080/10934529109375698.
- Pessaraki, M and Szabolcs, I. (1999) 'Soil Salinity and Sodicity as Particular Plant / Crop', in Pessaraki, Mohammad (ed.) *Hand book of plant and crop stress. second ed.* New York: Marced Lekkerin, Inc., pp. 1–15.
- Pompella, A. *et al.* (2003) 'The changing faces of glutathione, a cellular protagonist', *Biochemical Pharmacology*, 66(8), pp. 1499–1503. doi: 10.1016/S0006-2952(03)00504-5.
- Poór, P., Laskay, G. and Tari, I. (2015) 'Nitric Oxide Action in Abiotic Stress Responses in Plants', in *Nitric Oxide Action in Abiotic Stress Responses in Plants*. Springer International Publishing, pp. 193–219. doi: 10.1007/978-3-319-17804-2.
- Porcel, R., Aroca, R. and Ruiz-Lozano, J. M. (2012) 'Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review', *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), pp. 181–200. doi: 10.1007/s13593-011-0029-x.
- Pour-Aboughadareh, A. *et al.* (2021) 'Identification of salt-tolerant barley genotypes using multiple-traits index and yield performance at the early growth and maturity stages', *Bulletin of the National Research Centre*, 45(117), pp. 1–16.
- Qadir, A. *et al.* (2000) 'Amelioration Strategies for Saline Soils: a Review', *Land Degradation & Development*, 11, pp. 501–521.
- Qiu, Q. S. *et al.* (2004) 'Regulation of Vacuolar Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> Exchange in Arabidopsis thaliana by the Salt-Overly-Sensitive (SOS) Pathway', *Journal of Biological Chemistry*, 279(1), pp. 207–215. doi: 10.1074/jbc.M307982200.
- Racchi, M. (2013) 'Antioxidant Defenses in Plants with Attention to Prunus and Citrus spp.', *Antioxidants*, 2(4), pp. 340–369. doi: 10.3390/antiox2040340.
- Radhouane, L. (2008) 'Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains chez quelques écotypes de mil (Pennisetum glaucum (L.) R. Br.) autochtones de Tunisie', *Comptes Rendus Biologies*, 331(4), pp. 278–286. doi: 10.1016/j.crv.2008.01.006.
- Rajeswari, S. *et al.* (2019) 'Assessing salt-stress tolerance in barley', *Universitas Scientiarum*, 24(1), pp. 91–109. doi: 10.11144/Javeriana.SC24-1.asst.
- Ramade, F. (2008) *Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité*. Dunod. Paris. 737p.
- Rao, S. S. R. *et al.* (2002) 'Brassinosteroids: a new class of phytohormones', *Current Science*, 82(10), pp. 1239–1245.
- Rathinasabapathi, B. (2000) 'Metabolic engineering for stress tolerance: Installing osmoprotectant synthesis pathways', *Annals of Botany*, 86(4), pp. 709–716. doi: 10.1006/anbo.2000.1254.
- Rawia, A. E., Taha, L. and Ibrahim, S. (2011) 'Alleviation of Adverse Effects of Salinity on Growth, and Chemical Constituents of Marigold Plants by Using Glutathione and Ascorbate', *Journal of Applied Sciences Research*, 7(5), pp. 714–721.
- Rawson, H. M. and Munns, R. (1984) 'Leaf expansion in sunflower as influenced by salinity and short-term changes in carbon fixation.', *Plant, Cell and Environment*, 7, pp. 207–213. doi: 10.1111/1365-3040.ep11614653.
- Raychev, T. *et al.* (2001) 'Physicochemical reclamation of saline soils using coal powder', *International Agrophysics*, 15, pp. 51–54.
- Reid, R. L. (1990) *The Manual of Australian Agriculture*. Butterworths Pty Limited Australia: Butterworth-Heinemann. 894p. doi: 10.1016/B978-0-409-30946-1.50003-8.
- Richards, L. A. *et al.* (1954) *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. United States Salinity Laboratory Staff. USDA. 166p.
- Robert, D., Gate, P. and Couvreur, F. (1993) *Les stades du blé*. Edited by ITCF. 28p.
- Romero-Aranda, M. R., Jurado, O. and Cuartero, J. (2006) 'Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status', *Journal of Plant Physiology*, 163(8), pp. 847–855. doi: 10.1016/j.jplph.2005.05.010.
- Romero, J. M., Maranon, T. and Murillo, J. M. (1994) 'Long-term responses of Melilotus segetalis to salinity. II. Nutrient absorption and utilization', *Plant, Cell & Environment*, 17(11), pp. 1249–1255. doi: 10.1111/j.1365-3040.1994.tb02023.x.
- Rosa, M. *et al.* (2009) 'Soluble sugars-metabolism, sensing and abiotic stress a complex network in the life of plants', *Plant Signaling and Behavior*, 4(5), pp. 388–393. doi: 10.4161/psb.4.5.8294.
- Roy, T. K. *et al.* (2021) 'Yield performance of rice varieties under NaCl induced salinity stress in boro season', *Journal of Science and Technology*, 19(juin), pp. 40–51.
- Ruan, H., Shen, W. and XU, L. (2004a) 'Nitric Oxide Involved in the Abscisic Acid Induced Proline Accumulation in Wheat Seedling Leaves Under Salt Stress', *Journal of Integrative Plant Biology*, 46(11), pp. 1307–1315.
- Ruan, H., Shen, W. and XU, L. (2004b) 'Nitric Oxide Modulates the Activities of Plasma Membrane H<sup>+</sup>-ATPase and PPase in Wheat Seedling Roots and Promotes the Salt Tolerance Against Salt Stress', *Acta Botanica Sinica*, 46(4), pp. 415–422.
- Russelle, M. P. and Bolton, F. E. (1980) 'Soil Temperature Effects on Winter Wheat and Winter Barley Emergence in the Field', *Agronomy Journal*, 72, pp. 823–827.

- Sadak, M. S. and Talaat, I. M. (2021) 'Attenuation of negative effects of saline stress in wheat plant by chitosan and calcium carbonate', *Bulletin of the National Research Centre*, 45(1). doi: 10.1186/s42269-021-00596-w.
- Saeedipour, S. (2011) 'Salinity tolerance of rice lines related to endogenous abscisic acid (ABA) level synthesis under stress', *African Journal of Plant Science*, 5(11), pp. 628–633.
- Sairam, R. and Tyagi, A. (2004) 'Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants', *Current Science*, 86(3), pp. 407–421.
- Sakamoto, A. and Murata, N. (2002) 'The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: Clues from transgenic plants', *Plant, Cell and Environment*, 25(2), pp. 163–171. doi: 10.1046/j.0016-8025.2001.00790.x.
- Sakhabutdinova, a R. *et al.* (2003) 'Salicylic Acid Prevents the Damaging Action of Stress Factors on Wheat Plants', *Bulgarian Journal of Plant Physiology, Special-Is*, pp. 314–319.
- Salama, F. M. and Khodary, S. E. A. (1981) 'Effect of Soil Salinity and IAA on Growth, Photosynthetic Pigments, and Mineral Composition of Tomato and Rocket Plants', *Phyton*, 21(2), pp. 177–188.
- Saleh, B. (2011) 'Effect of salt stress (NaCl) on biomass and K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> ratio in cotton', *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7(4), pp. 5–14.
- Sally, E. E.-W., Ashgan, M. A.-A. and El-Shimaa, E. I. M. (2019) 'Assessment of Salinity Stress Tolerance in Some Barley Genotypes', *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*, 64(3), pp. 195–206. doi: 10.21608/alexja.2019.70133.
- Sanchez-Bragado, R. *et al.* (2014) 'Contribution of the ear and the flag leaf to grain filling in durum wheat inferred from the carbon isotope signature: Genotypic and growing conditions effects', *Journal of Integrative Plant Biology*, 56(5), pp. 444–454. doi: 10.1111/jipb.12106.
- Sasse, J. M. (1997) 'Recent progress in brassinosteroid research', *Physiologia Plantarum*, 100(3), pp. 696–701. doi: 10.1111/j.1399-3054.1997.tb03076.x.
- Saviozzi, A., Cardelli, R. and Di Puccio, R. (2011) 'Impact of salinity on soil biological activities: a laboratory experiment', *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(3), pp. 358–367.
- Sbei, H. *et al.* (2014) 'Salinity Tolerance Evaluation of Asian Barley Accessions (*Hordeum vulgare* L.) at the Early Vegetative Stage', *Journal of arid land studies*, 24(1), pp. 183–186.
- Schleiff, U. (1979) 'Salt Contents in the Rhizosphere and in Soil Solution outside the Rhizosphere under Controlled Irrigation', in *Soils in Mediterranean Type Climates and their Yield Potential*. Proc. 14th Colloq. Int. Potash Institute, Bern, pp. 93–98.
- Schluempmann, H. *et al.* (2003) 'Trehalose 6-phosphate is indispensable for carbohydrate utilization and growth in *Arabidopsis thaliana*.', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(11), pp. 6849–6854. doi: 10.1073/pnas.1132018100.
- Schwarz, P. and Li, Y. (2011) 'Malting and Brewing Uses of Barley', in Ullrich, S. E. (ed.) *Barley: Production, Improvement, and Uses*. Blackwell Publishing Ltd., pp. 478–521. doi: 10.1002/9780470958636.
- Servant, J. M. (1978) 'La salinité dans le sol et les eaux: caractérisation et problèmes d'irrigation-drainage', *Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Section II*(2), pp. 123–142.
- Setter, T. L. *et al.* (2016) 'Salt tolerance, date of flowering and rain affect the productivity of wheat and barley on rainfed saline land', *Field Crops Research*, 194, pp. 31–42. doi: 10.1016/j.fcr.2016.04.034.
- Shabala, S. *et al.* (2005) 'Effect of divalent cations on ion fluxes and leaf photochemistry in salinized barley leaves', *Journal of Experimental Botany*, 56(415), pp. 1369–1378. doi: 10.1093/jxb/eri138.
- Shabala, S. and Cuin, T. a. (2008) 'Potassium transport and plant salt tolerance', *Physiologia Plantarum*, 133(4), pp. 651–669. doi: 10.1111/j.1399-3054.2007.01008.x.
- Shahba, Z., Baghizadeh, A. and Yosefi, M. (2010) 'The salicylic acid effect on the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) germination, growth and photosynthetic pigment under salinity stress (NaCl)', *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 6(3), pp. 4–16.
- Shainberg, I. and Singer, M. J. (2011) 'Soil Response To Saline And Sodic Conditions', in *Agricultural Salinity Assessment and Management*. American Society of Civil Engineers, pp. 139–167. doi: DOI:10.1061/9780784411698.ch05.
- Sharma, D. K. *et al.* (2011) 'Effect of Putrescine and Paclobutrazol on Growth, Physiochemical Parameters, and Nutrient Acquisition of Salt-sensitive Citrus Rootstock Karna khatta (*Citrus karna* Raf.) under NaCl Stress', *Journal of Plant Growth Regulation*, 30(3), pp. 301–311. doi: 10.1007/s00344-011-9192-1.
- Shelp, B. J., Bown, A. W. and Mclean, M. D. (1999) 'Metabolism and functions of gamma-aminobutyric acid', *Trends in Plant Science*, 4(11), pp. 446–452.
- Shi, H. *et al.* (2002) 'The putative plasma membrane NA<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiporter SOS1 controls long-distance NA<sup>+</sup> transport in plants', *Plant Cell*, 14(2), pp. 465–477. doi: 10.1105/tpc.010371.
- Shin, Y. K. *et al.* (2020) 'Evaluation of chlorophyll fluorescence parameters and proline content in tomato seedlings grown

- under different salt stress conditions', *Horticulture Environment and Biotechnology*. Springer Singapore, 61(3), pp. 433–443. doi: 10.1007/s13580-020-00231-z.
- Sibole, J. V. *et al.* (1998) 'Role of sodium in the ABA-mediated long-term growth response of bean to salt stress', *Physiologia Plantarum*, 104(3), pp. 299–305.
- Sigala, F., Fies, J. C. and Guennelon, R. (1989) 'Influence du sodium sur les propriétés physiques d'un sol aux niveaux textural et structural', in Bouchet, R. (ed.) *Reuse of low quality water for irrigation*. Bari : CIHEAM, . Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n°1, pp. 159–168.
- Signorelli, S. *et al.* (2013) 'Proline does not quench singlet oxygen: Evidence to reconsider its protective role in plants', *Plant Physiology and Biochemistry*. Elsevier Ltd, 64, pp. 80–83. doi: 10.1016/j.plaphy.2012.12.017.
- Silva-Ortega, C. O. *et al.* (2008) 'Salt stress increases the expression of p5cs gene and induces proline accumulation in cactus pear', *Plant Physiology and Biochemistry*, 46(1), pp. 82–92. doi: 10.1016/j.plaphy.2007.10.011.
- Singh, N. K. *et al.* (1989) 'Reduced growth rate and changes in cell wall proteins of plant cells adapted to NaCl', in *Environmental Stress in Plants: Biochemical and Physiological Mechanisms*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 173–194. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Singla-Pareek, S. L. *et al.* (2008) 'Enhancing salt tolerance in a crop plant by overexpression of glyoxalase II', *Transgenic Research*, 17(2), pp. 171–180. doi: 10.1007/s11248-007-9082-2.
- Smith, T. A. (1985) 'Polyamines', *Ann. Rev. Plant Physiol*, 36, pp. 117–143.
- Snoussi, S. A. and Abbad, M. (2012) 'Effet d'un environnement salin sur la production de la proline chez deux glycophytes cultivées (tomate et haricot)', *Agro biologia*, 3, pp. 19–26.
- Song, J. *et al.* (2005) 'Strategies for adaptation of Suaeda physophora, Haloxylon ammodendron and Haloxylon persicum to a saline environment during seed-germination stage', *Annals of Botany*, 96(3), pp. 399–405. doi: 10.1093/aob/mci196.
- Sorkhi, F. (2020) 'Effect of salt stress on physiology and agronomy characteristics of barley cultivars', *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 22(3), pp. 69–75.
- Sosa, L. *et al.* (2005) 'Osmotic and specific ion effects on the germination of Prosopis strombulifera', *Annals of Botany*, 96(2), pp. 261–267. doi: 10.1093/aob/mci173.
- Soualmi, N., Belkhdja, M. and Adda, A. (2017) 'Effect of salt stress on some physiological parameters in Atriplex halimus L.', *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(1), pp. 206–216. doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v9i1.14>.
- Soussi, M., Ocaña, A. and Lluch, C. (1998) 'Effects of salt stress on growth, photosynthesis and nitrogen fixation in chick-pea (Cicer arietinum L.)', *Journal of Experimental Botany*, 49(325), pp. 1329–1337. doi: 10.1093/jxb/49.325.1329.
- Stanca, A. M. *et al.* (2003) 'Diversity in abiotic stress tolerances', in Von Bothmer, R. *et al.* (eds) *Diversity in Barley (Hordeum vulgare)*. Elsevier, Netherlands, pp. 179–199.
- Statistica (2022) *Import of barley into Algeria from 2017/2018 to 2021/2022*. Available at: <https://www.statista.com/statistics/1194804/import-of-barley-into-algeria/>.
- Stavridou, E. *et al.* (2017) 'The impact of soil salinity on the yield, composition and physiology of the bioenergy grass Miscanthus × giganteus', *GCB Bioenergy*, 9(1), pp. 92–104. doi: 10.1111/gcbb.12351.
- Steduto, P. *et al.* (2000) 'Gas-exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity', *Environmental and Experimental Botany*, 44(3), pp. 243–255. doi: 10.1016/S0098-8472(00)00071-X.
- Stevens, J., Senaratna, T. and Sivasithamparam, K. (2006) 'Salicylic Acid Induces Salinity Tolerance in Tomato (Lycopersicon esculentum cv. Roma): Associated Changes in Gas Exchange, Water Relations and Membrane Stabilisation', *Plant Growth Regulation*, 49(1), pp. 77–83. doi: 10.1007/s10725-006-0019-1.
- Stewart, G. R. and Lee, J. A. (1974) 'The role of proline accumulation in halophytes', *Planta*, 120(3), pp. 279–289. doi: 10.1007/BF00390296.
- Sudhir, P. and Murthy, S. D. S. (2004) 'Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis', *Photosynthetica*, 42(4), pp. 481–486.
- Suhayda, C. G. *et al.* (1990) 'Electrostatic changes in Lycopersicon esculentum root plasma membrane resulting from salt stress', *Plant Physiology*, 93(2), pp. 471–478. doi: 10.1104/pp.93.2.471.
- Sunarpi *et al.* (2005) 'Enhanced salt tolerance mediated by AtHKT1 transporter-induced Na<sup>+</sup> unloading from xylem vessels to xylem parenchyma cells', *Plant Journal*, 44(6), pp. 928–938. doi: 10.1111/j.1365-313X.2005.02595.x.
- Szabolcs, I. (1994) 'Prospects of soil salinity for the 21st century', *Agro Kémia És Talajtan Tom.43*, 1–2, pp. 5–25.
- Taghipour, F. and Salehi, M. (2008) 'The Study of Salt Tolerance of Iranian Barley (Hordeum vulgare L.) Genotypes in Seedling Growth Stages', *Biological Diversity and Conservation*, 1(2), pp. 53–58.
- Tahir, M. A. *et al.* (2012) 'Silicon-induced changes in growth, ionic composition, water relations, chlorophyll contents and

- membrane permeability in two salt-stressed wheat genotypes', *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(3), pp. 247–256. doi: 10.1080/03650340.2010.518959.
- Tajdoost, S., Farboodnia, T. and Heidari, R. (2007) 'Salt pretreatment enhance salt tolerance in *Zea mays* L. seedlings', *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(12), pp. 2086–2090. doi: 10.3923/pjbs.2007.2086.2090.
- Tanji, K. K. (2002) 'Salinity in the Soil Environment', in Läuchli, A. and Lüttge, U. (eds) *Salinity: Environment-Plants-Molecules*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 21–51.
- Tavakkoli, E. *et al.* (2011) 'Additive effects of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions on barley growth under salinity stress', *Journal of Experimental Botany*, 62(6), pp. 2189–2203. doi: 10.1093/jxb/erq422.
- Taylor, S. (1996) *Dryland salinity – introductory extension notes. second edition*. NSW Department of Land and Water Conservation. Sydney. 73p.
- Tester, M. and Davenport, R. (2003) 'Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants', *Annals of Botany*, 91(5), pp. 503–527. doi: 10.1093/aob/mcg058.
- Thouraya, R. *et al.* (2013) 'Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annum* L.)', *Journal of Applied Biosciences*, 66, pp. 5060–5069.
- Troll, W. and Lindsley, J. (1955) 'A photometric method for the determination of proline', *The Journal of biological chemistry*, 215(2), pp. 655–660. doi: 10.1016/s0021-9258(18)65988-5.
- Tun, N. N. *et al.* (2006) 'Polyamines induce rapid biosynthesis of nitric oxide (NO) in *Arabidopsis thaliana* seedlings', *Plant and Cell Physiology*, 47(3), pp. 346–354. doi: 10.1093/pcp/pci252.
- Tuna, a. L. *et al.* (2008) 'The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants', *Environmental and Experimental Botany*, 62(1), pp. 1–9. doi: 10.1016/j.envexpbot.2007.06.007.
- Tuna, A. L. (2014) 'Influence of foliarly applied different triazole compounds on growth, nutrition, and antioxidant enzyme activities in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Under salt stress', *Australian Journal of Crop Science*, 8(1), pp. 71–79.
- Turkylmaz Unal, B., Aktas, L. Y. and Guven, A. (2014) 'Effects of salinity on antioxidant enzymes and proline in leaves of barley seedlings in different growth stages', *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20(4), pp. 883–887.
- Uchida, A. *et al.* (2002) 'Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice', *Plant Science*, 163(3), pp. 515–523. doi: 10.1016/S0168-9452(02)00159-0.
- Verstegen, H. *et al.* (2014) 'The World Importance of Barley and Challenges to Further Improvements', in Kumlehn, J. and Stein, N. (eds) *Biotechnological Approaches to Barley Improvement*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 3–19. doi: 10.1007/978-3-662-44406-1.
- Vysotskaya, L. *et al.* (2010) 'Effect of salinity on water relations of wild barley plants differing in salt tolerance', *AoB Plants*, plq006, pp. 1–8. doi: 10.1093/aobpla/plq006.
- Wahid, A. *et al.* (2007) 'Pretreatment of seed with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> improves salt tolerance of wheat seedlings by alleviation of oxidative damage and expression of stress proteins', *Journal of Plant Physiology*, 164(3), pp. 283–294. doi: 10.1016/j.jplph.2006.01.005.
- Wakeel, A. (2013) 'Potassium-sodium interactions in soil and plant under saline-sodic conditions', *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(3), pp. 344–354. doi: 10.1002/jpln.201200417.
- Walia, H. *et al.* (2007) 'Large-scale expression profiling and physiological characterization of jasmonic acid-mediated adaptation of barley to salinity stress', *Plant, Cell and Environment*, 30(4), pp. 410–421. doi: 10.1111/j.1365-3040.2006.01628.x.
- Walker, M. a and Dumbroff, E. B. (1981) 'Effects of salt stress on abscisic acid and cytokinin levels in tomato', *Zeitschrift fuer Pflanzenphysiologie*, 101(5), pp. 461–470. doi: 10.1016/S0044-328X(81)80085-2.
- Wang, H. *et al.* (2009) 'Ethylene and nitric oxide are involved in maintaining ion homeostasis in *Arabidopsis* callus under salt stress', *Planta*, 230(2), pp. 293–307. doi: 10.1007/s00425-009-0946-y.
- Wang, L. *et al.* (2014) 'Application of organic amendments to a coastal saline soil in north China: Effects on soil physical and chemical properties and tree growth', *PLoS ONE*, 9(2), pp. 1–9. doi: 10.1371/journal.pone.0089185.
- Wasternack, C. and Hause, B. (2002) 'Jasmonates and octadecanoids: signals in plant stress responses and development.', *Progress in nucleic acid research and molecular biology*, 72, pp. 165–221. doi: 10.1016/S0079-6603(02)72070-9.
- White, P. J. and Broadley, M. R. (2001) 'Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review', *Annals of Botany*, 88(6), pp. 967–988. doi: 10.1006/anbo.2001.1540.
- Widodo *et al.* (2009) 'Metabolic responses to salt stress of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars, Sahara and Clipper, which differ in salinity tolerance', *Journal of Experimental Botany*, 60(14), pp. 4089–4103. doi: 10.1093/jxb/erp243.
- Wiegmann, M. *et al.* (2019) 'Barley yield formation under abiotic stress depends on the interplay between flowering time genes and environmental cues', *Scientific Reports*, 9(1), pp. 1–17. doi: 10.1038/s41598-019-42673-1.

- Wrigley, C. *et al.* (2004) 'Grains', *Encyclopedia Of Food Grains : Volume 1 The World Of Food Grains*. 2nd edn. Academic Press. Elsevier San Diego, California. 98p.
- Wu, D. *et al.* (2013) 'Ionic responses and correlations between elements and metabolites under salt stress in wild and cultivated barley', *Plant and Cell Physiology*, 54(12), pp. 1976–1988. doi: 10.1093/pcp/pct134.
- Wu, H. *et al.* (2018) 'It is not all about sodium: revealing tissue specificity and signalling roles of potassium in plant responses to salt stress', *Plant and Soil*, 431, pp. 1–17. doi: 10.1007/s11104-018-3770-y.
- Wu and Wang, S. M. (2012) 'Calcium regulates K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> homeostasis in rice (*Oryza sativa* L.) under saline conditions', *Plant, Soil and Environment*, 58(3), pp. 121–127. doi: 10.17221/374/2011-pse.
- Wyn Jones, R. . and Storey, R. (1978a) 'Salt Stress and Comparative Physiology in the Gramineae. II. Glycinebetaine and Proline Accumulation in Two Salt- and Water-Stressed Barley Cultivars', *Australian Journal of Plant Physiology*, 5(6), p. 817. doi: 10.1071/PP9780817.
- Wyn Jones, R. . and Storey, R. (1978b) 'Salt stress and comparative physiology in the gramineae. IV. Comparison of salt stress in *Spartina x townsendii* and three barley cultivars', *Australian Journal of Plant Physiology*, 5, pp. 839–850.
- Wyn Jones, R. G. and Gorham, J. (1983) 'Aspects of salt and drought tolerance in higher plants', in *Genetic engineering of plants: an agricultural perspective*. Springer US, pp. 355–370.
- Xiong, L. and Zhu, J. K. (2002) 'Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress', *Plant, Cell and Environment*, 25(2), pp. 131–139. doi: 10.1046/j.1365-3040.2002.00782.x.
- Yamakawa, H. and Hakata, M. (2010) 'Atlas of rice grain filling-related metabolism under high temperature: Joint analysis of metabolome and transcriptome demonstrated inhibition of starch accumulation and induction of amino acid accumulation', *Plant and Cell Physiology*, 51(5), pp. 795–809. doi: 10.1093/pcp/pcq034.
- Yang, T. and Poovaiah, B. . (2003) 'Calcium/calmodulin-mediated signal network in plants', *Trends in Plant Science*, 8(10), pp. 505–512. doi: 10.1016/j.plants.2003.09.004.
- Yasamin, M. *et al.* (2017) 'Effect of different levels of salinity on some morpho- physiological characteristics in German Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) populations', *Scholarly Journal of Agricultural Science*, 7(4), pp. 95–100.
- Yeo, a R. *et al.* (1991) 'Short- and Long-Term Effects of Salinity on Leaf Growth in Rice (*Oryza sativa* L.)', *Journal of Experimental Botany*, 42(240), pp. 881–889. doi: 10.1093/jxb/42.7.881.
- Yeo, a R. and Flowers, T. J. (1982) 'Accumulation and localisation of sodium ions within the shoots of rice (*Oryza sativa*) varieties differing in salinity resistance', *Physiol. plant.*, 56, pp. 343–348. doi: 10.1111/j.1399-3054.1982.tb00350.x.
- Yildiz, M. and Terzi, H. (2013) 'Effect of NaCl Stress on Chlorophyll Biosynthesis, Proline, Lipid Peroxidation and Antioxidative Enzymes in Leaves of Salt-Tolerant and Salt-Sensitive Barley Cultivars', *Journal of Agricultural Sciences*, 19, pp. 79–88.
- Yıldıztuğay, E. *et al.* (2011) 'Elucidation of physiological and biochemical mechanisms of an endemic halophyte *Centaurea tuzgoluensis* under salt stress', *Plant Physiology and Biochemistry*, 8, pp. 816–824. doi: 10.1016/j.plaphy.2011.01.021.
- Yousfi, S. *et al.* (2007) 'Effect of salt on physiological responses of barley to iron deficiency', *Plant Physiology and Biochemistry*, 45(5), pp. 309–314. doi: 10.1016/j.plaphy.2007.03.013.
- Yousofinia, M. *et al.* (2012) 'Effects of salinity stress on barley (*Hordeum vulgare* L.) Germination and seedling growth', *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 4(18), pp. 1353–1357.
- Zaghdoud, C. *et al.* (2011) 'Comportement physiologique de deux espèces de tabac au stress salin " *Nicotiana tabacum* " et " *Nicotiana rustica* "', *Revue des Régions Arides*, 25(1), pp. 3–14.
- Zahra Khodarahmpour (2012) 'Evaluation of salinity effects on germination and early growth of maize (*Zea mays* L.) hybrids', *African Journal of Agricultural Research*, 7(12), pp. 1926–1930. doi: 10.5897/AJAR11.1600.
- Zeid, I. M. (2003) 'Trehalose as osmoprotectant for maize under salinity-induced stress', *Res J Agric Biol Sci*, 5, pp. 613–622.
- Zerroumda, M. E. (2012) *Approches physiologiques et métaboliques pour la sélection de variétés d'orge tolérantes vis-à-vis d'une contrainte saline*. Magister: Ecole Doctorale; École Nationale Supérieure Agronomique -El Harrach -Alger.100p.
- Zhang, R. H. *et al.* (2009) 'Effects of exogenous putrescine on gas-exchange characteristics and chlorophyll fluorescence of NaCl-stressed cucumber seedlings', *Photosynthesis Research*, 100(3), pp. 155–162. doi: 10.1007/s11120-009-9441-3.
- Zhang, Z. *et al.* (2012) 'Responses of different rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to salt stress and relation to carbohydrate metabolism and chlorophyll content', *African Journal of Agricultural Research*, 7(1), pp. 19–27. doi: 10.5897/ajar11.834.
- Zhao, H. *et al.* (2019) 'Effects of salt stress on chlorophyll fluorescence and the antioxidant system in *Ginkgo biloba* L. seedlings', *HortScience*, 54(12), pp. 2125–2133. doi: 10.21273/HORTSCI14432-19.
- Zhao, S. *et al.* (2021) 'Regulation of plant responses to salt stress', *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), pp. 1–16. doi: 10.3390/ijms22094609.

- Zheng, Y. *et al.* (2008) 'Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance', *Journal of Plant Physiology*, 165(14), pp. 1455–1465. doi: 10.1016/j.jplph.2008.01.001.
- Zhu, J.-K. (2002) 'Salt and Drought Stress Signal Transduction in Plants', *Annual Review of Plant Biology*, 53(1), pp. 247–273. doi: 10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329.
- Zhu, J. *et al.* (2020) 'Understanding mechanisms of salinity tolerance in barley by proteomic and biochemical analysis of near-isogenic lines', *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), pp. 1–13. doi: 10.3390/ijms21041516.
- Zhu, J. K. (2003) 'Regulation of ion homeostasis under salt stress', *Current Opinion in Plant Biology*, 6(5), pp. 441–445. doi: 10.1016/S1369-5266(03)00085-2.
- Zid, E. and Grignon, C. (1991) 'Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique.', in *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*. AUPELFUREF. Jon Libbey Eurotext, Paris, 91-108.
- Zohary, D., Hopf, M. and Weiss, E. (2013) *Domestication of plants in the old world*. 4th ed. Clarendon Press: Oxford Science publications. 269p.

# Annexes

## Annexes



**Annexe1 : Quelques grains des variétés étudiées**



**Annexe2: Tests de germination**



**Annexe3 : Stades de formation du grain**



**Annexe4 : Stade tallage**



**Annexe5 : Vue générale des parcelles cultivées**



**Annexe6 : Parcelles au stade de maturité**