

## EFFET DU STRESS SALIN SUR LA GERMINATION, LA CROISSANCE ET LA PRODUCTION EN GRAINS DE QUELQUES ACCESSIONS TUNISIENNES D'ORGE (*HORDEUM VULGARE L.*)

Reçu le 15/06/2008 – Accepté le 20/05/2009

### Résumé

Cette étude a pour objet de comparer le comportement de quelques accessions d'orge cultivées dans différentes étages bioclimatique de la Tunisie, le nord sup humide; le centre : semi aride et le sud : aride, soumises à des conditions de stress salin. Elle a été menée au laboratoire et au champ et a permis de mettre en évidence l'influence de taux de salinité variables sur différents paramètres caractéristiques : taux de germination, longueur de l'épicotyle, longueur de la racine, teneur en chlorophylle, surface foliaire ainsi que le rendement. Ainsi ont pu être sélectionnées des accessions tolérantes susceptibles de mieux valoriser les zones salines ou n'ayant que des ressources en eau saumâtre.

**Mots clés :** orge, ressources végétales, salinité.

### Abstract

**Effect of the saline stress on germination, the growth and the production in grains of some Tunisian barley accessions (*Hordium vulgare. L.*)**

This study has the aim of comparing the behavior of some accessions of barley cultivated in different stages bioclimatic from Tunisia, wet north sup; the center: semi arid and south: arid, subjected to conditions of saline stress. It was carried out to the laboratory and the field and made it possible to highlight the influence of variable rates of salinity on various characteristic parameters: rate of germination, length of epicotyle, length of the root, content chlorophyl, leaf area as well as the output. Thus tolerant accessions likely could be selected to better develop the zones saltworks or having only brackish water resources.

**Keywords:** barley, resources vegetable, salinity.

K. KADRI<sup>1,2</sup>  
S. MAALAM<sup>3,5</sup>  
M. H. CHEIKH<sup>1</sup>  
A. BENABDALLAH<sup>4,5</sup>  
C. RAHMOUNE<sup>5</sup>  
M. BEN NACEUR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de biotechnologie et de la physiologie végétale (INRAT), 29 rue Hédi karray Ariana 2049, Tunisie.

<sup>2</sup> Laboratoire de biotechnologie et culture *in vitro*, (CRRAO), Degache 2260, Tunisie.

<sup>3</sup> Département de biologie, Centre universitaire de Tébessa, Algérie.

<sup>4</sup> Département Vétérinaire, Centre Universitaire d'El-Taref, Algérie.

<sup>5</sup> Ecotoxicologie et Stress Abiotiques, Dépt. Biologie et Ecologie, Faculté SNV, Université Mentouri Constantine, Algérie.

ملخص

Dans les zones arides et semi-arides du monde, des ressources hydrauliques importantes sont disponibles mais elles sont de qualité médiocre (saumâtre) [1]. En Tunisie, les surfaces irriguées ont connu un accroissement rapide durant les dernières décennies. À titre d'exemple, en 1960, les périmètres irrigués n'étaient que d'environ 60 000 ha, localisés essentiellement dans les oasis et le Sahel [2]. Actuellement, ils couvrent environ 440 000 ha dont 100 000 ha environ reçoivent des irrigations de complément [3, 4]. La réponse au sel des espèces végétales dépend de l'espèce même, de sa variété, de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante [5, 6]. L'identification de variétés tolérantes aux sels permettrait certainement d'améliorer la production des zones à risque ou irriguées à l'eau saumâtre et présenterait un intérêt évident dans l'optique d'aide à l'amélioration variétale [7, 8].

L'objet de ce travail est donc de caractériser l'effet du stress salin sur douze accessions d'orge locale, sélectionnées pour leur efficacité d'utilisation de l'eau, et d'identifier celle qui pourrait être cultivée dans des conditions de stress salin sans que son rendement soit fortement diminué.

## MATERIEL ET METHODES

### Matériel végétal

Les accessions d'orge (*Hordium vulgare*, L) sont obtenues à la suite d'une prospection effectuée, dans des régions peu fréquentées choisies dans différents étages bioclimatiques de la Tunisie. Les accessions collectées ont été semées séparément dans des parcelles élémentaires à la même date et ont été épurées sur la base de certains critères agronomiques (hauteur des plantes, surface foliaire, date d'épiaison, architecture de l'épi,...) puis nommées selon la région de collecte [9]. Ces accessions sont donc: Tozeur I, Tozeur II, Kebilli I, Kebilli II, Kebilli III, Kasserine, Sidi Bouzid, Jendouba I, Jendouba II, Kalaa, Klibi I et Klibi II, à ces accessions locales ont ajouté trois variétés références couramment utilisées par les agriculteurs qui sont Martin, Rihane et Manel.

### Protocole expérimental

Les essais ont été conduits au laboratoire et au champ. Au laboratoire, nous avons testé l'effet du chlorure de sodium (NaCl) sur le taux de germination et sur les longueurs de l'épicotyle et des racines des différentes accessions d'orges étudiées. Pour chaque accession, nous avons compté 20 graines que nous avons placées dans une boîte de Pétri. Dans un cas, nous avons ajouté à ces graines 20 ml d'eau distillée (témoin) ; dans un autre cas, nous avons ajouté 20 ml de solution contenant 6 g/l ou 12 g/l de NaCl (stress salin). Chaque traitement est répété quatre fois. Après une semaine d'incubation à 25 °C et à l'obscurité, nous avons compté les graines qui ont germé et mesuré les longueurs de l'épicotyle et de la racine des différentes accessions d'orges. Les essais au champ ont été conduits dans des pots de végétation contenant chacun 7 Kg de sol de l'INRAT. Chaque traitement est représenté par 3 pots

contenant chacun 4 plantes. Ce n'est qu'au moment du début tallage (stade 4 feuilles) que nous avons soumis nos plantes au stress salin. Les irrigations sont effectuées une fois par semaine à raison de 500 ml par pots, ce qui nous a permis de garder les pots à leur capacité au champ, comme ça était démontré par Hedlley [10] et Ittleilia, [11].

### Mesure de la croissance des plantes

#### Mesure de la hauteur des plantes

La hauteur des plantes mesurée à l'aide d'une règle graduée nous renseigne sur l'effet du stress sur la croissance des plantes stressées comparativement au témoin. Les mesures de la hauteur des plantes ont débuté 3 semaines après le début de l'irrigation à l'eau salée. Elles ont été effectuées tous les 15 jours, jusqu'à la fin de l'expérience.

#### Mesure de la surface foliaire

Pour cerner l'effet de la salinité sur les différentes accessions d'orges, la surface foliaire a été déterminée à l'aide d'un planimètre AM100. Tous les 15 jours, trois feuilles sont prélevées sur chaque variété (stressée ou non) et leurs surfaces sont déterminées.

### Composantes du rendement

#### Nombre des grains par épis

Le comptage du nombre des grains par épis nous a renseignés sur l'effet du sel sur ce paramètre.

#### Poids moyen des épis

Ce paramètre a été déterminé après prélèvement, au hasard, de six épis de chaque parcelle. Ensuite, nous avons déterminé le poids moyen des épis, après séchage à l'étuve, à 35 °C, pendant 7 jours.

### Analyse statistique

Les résultats sont soumis à l'analyse de la variance à un ou à deux facteurs et les moyennes sont comparées selon la méthode de Newman et Keuls, basée sur la plus petite amplitude significative. Chaque moyenne est affectée d'une lettre, les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes.

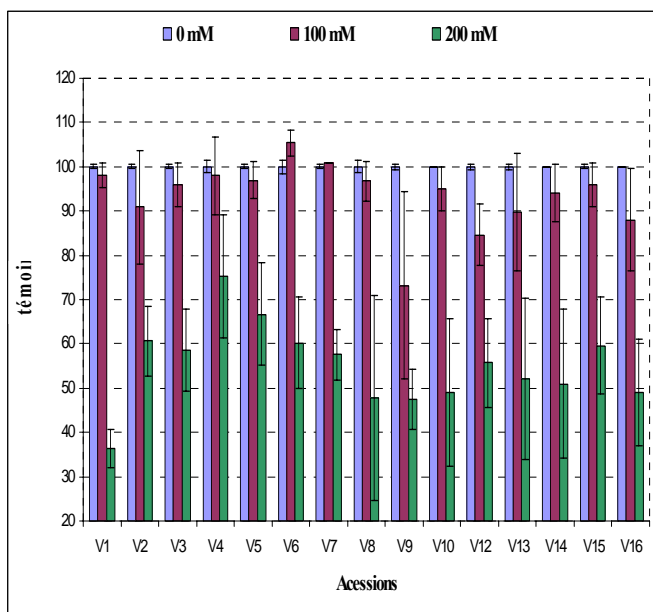
## RESULTATS ET DISCUSSION

### Résultats des essais réalisés au laboratoire

#### Taux de germination

Bien qu'il ne reproduise pas intégralement le comportement des plantes au champ, le taux de germination, en conditions de stress salin, donne toujours une tendance plus ou moins précise du comportement des variétés étudiées [12]. Le taux de germination des différentes accessions est rapporté à la figure 1. Cette figure montre que la réponse des différentes accessions d'orge au stress salin est variable en fonction de l'intensité du stress et de l'accession elle-même. En effet, pour un stress de 6 g NaCl / l, la plupart des accessions subissent une diminution de leur taux de germination comparativement aux témoins respectifs, à l'exception de kasserine et Sidi-Bouzid qui ont

pu maintenir un taux de germination légèrement supérieur aux témoins. Lorsque l'intensité du stress est encore plus élevée (12 g NaCl / l), la plupart des accessions étudiées sont fortement affectées et leurs taux de germination ne dépassent pas les 60 % du témoin. Cependant, Kebilli 2 et Kebilli 3 montrent une plus grande tolérance au sel et particulièrement Kebilli 2 qui a affiché un taux de germination proche de 80 %.



**Figure 1:** Variation du taux de germination pondéral, des différentes accessions d'Orge, en fonction de l'intensité du stress salin.

**Légende :** V1 = Tozeur 1, V2 = Tozeur 2, V3 = Kebilli 1, V4 = Kebilli 2, V5 = Kebilli 3, V6 = Sidi-Bouزيد, V7 = Kasserine, V8 = Jendouba 1, V9 = Jendouba 2, V10 = Martin, V11 = Kalaa, V12 = Klibia 1, V13 = Klibia 2, V14 = Rihane, V15 = Manel.

Il est à signaler que les accessions Tozeur 1, Jendouba 1 et Jendouba 2, Martin, Klibia 1 et Klibia 2 ainsi que Manel sont les plus affectées par le stress sévère (12 g/l) et spécialement Tozeur 1 qui a montré une diminution remarquable par rapport à son témoin (environ 60% de réduction par rapport à son témoin). L'analyse de la variance à un facteur a été effectuée (tableau 1).

Elle montre une différence significative entre les différents traitements (100 et 200 mM) et distribue les variétés en différentes classes comme le montre le tableau 1.

Globalement, nos résultats montrent un effet dépressif du sel sur la germination des graines et concordent avec ceux d'autres études [6, 13, 14].

### Longueur de l'épicotyle

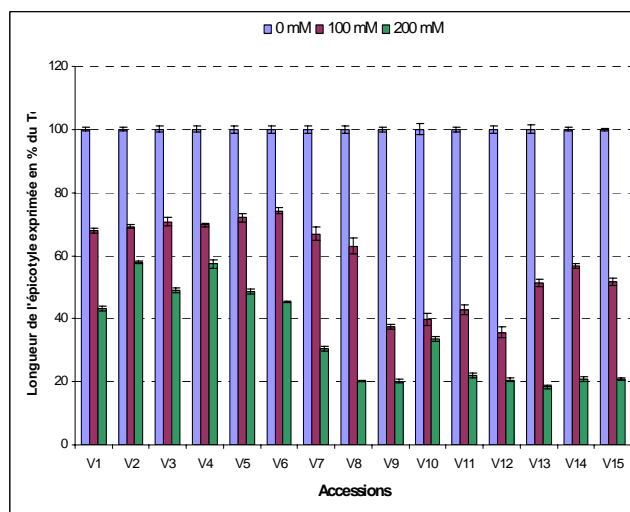
Sur le plan élancement de la partie aérienne, nos résultats montrent qu'un stress salin de l'ordre de 6g NaCl / l n'affecte pas l'épicotyle des accessions testées de la même manière (figure 2). En effet, le taux de réduction de la longueur de l'épicotyle par rapport au témoin varie de 20 à 60 %. Pour un stress plus sévère (12g NaCl / l) la longueur de la partie aérienne des accessions testées est sérieusement affectée, surtout Jendouba 1 (V8), Jendouba 2 (V9) (≈ 20%

du témoin), Kalaa (V11), Klibia 1 (V12) et Klibia 2 (V13) (≈ 18% du témoin), Rihane (V14) et Manel (V15). En revanche, Tozeur 2, Kebilli 1, Kebilli 2 et Kebilli 3 développent des longueurs supérieures ou égales à 50 % du témoin et dépassent même celle des autres accessions sous stress modéré (figure 2).

**Tableau 1:** Classification des accessions étudiées en groupes homogènes selon le test de Newman Keuls.

Variétés	Témoin	100 mM	200 mM
Tozeur I	100	96,70 <sup>c</sup>	35,66 <sup>i</sup>
Tozeur II	100	91,40 <sup>c</sup>	60,78 <sup>c</sup>
Kébilli I	100	96,30 <sup>cd</sup>	60,61 <sup>c</sup>
Kébilli II	100	96,67 <sup>c</sup>	75,49 <sup>a</sup>
Kébilli III	100	96,50 <sup>cd</sup>	67,30 <sup>b</sup>
Sidi Bouzid	100	104,25 <sup>a</sup>	58,81 <sup>c</sup>
Kasserine	100	101,11 <sup>b</sup>	58,87 <sup>c</sup>
Jendouba I	100	97,14 <sup>c</sup>	45,90 <sup>h</sup>
Jendouba II	100	72,48 <sup>g</sup>	47,32 <sup>gh</sup>
Martin	100	94,48 <sup>d</sup>	48,38 <sup>g</sup>
Kalla	100	85,57 <sup>f</sup>	55,33 <sup>e</sup>
Kélibia I	100	85,12 <sup>f</sup>	55,33 <sup>ef</sup>
Kélibia II	100	94,47 <sup>d</sup>	55,33 <sup>c</sup>
Rihane	100	96,23 <sup>c</sup>	55,35 <sup>c</sup>
Manel	100	86,72 <sup>f</sup>	55,33 <sup>fg</sup>

a,b,c,...,i : différentes classes.



**Figure 2:** Variation de la longueur de la partie souterraine, chez les différentes accessions d'orge, en fonction de l'intensité du stress salin.

L'analyse de la variance (tableaux 2 et 3) incluant les trois traitements (témoin, 6 g et 12 g/l) fait ressortir plusieurs groupes homogènes dont les accessions Kebilli2,

Kebilli 3, Rihane, Manel, Sidi-Bouزيد et Kasserine sont les moins affectées alors que les accessions Jendouba 1, Klibia 2, Jendouba 2 et Kalaa sont les plus affectées par le sel. Nos résultats sont en accord avec ceux de Allah et Garcia-Legaz et al. [15, 16] qui ont montré un effet variable du stress salin sur la croissance de la partie aérienne de nombreuses espèces végétales.

**Tableau 2 :** Tableau d'analyse de la variance du paramètres « longueur de l'épicotyle »

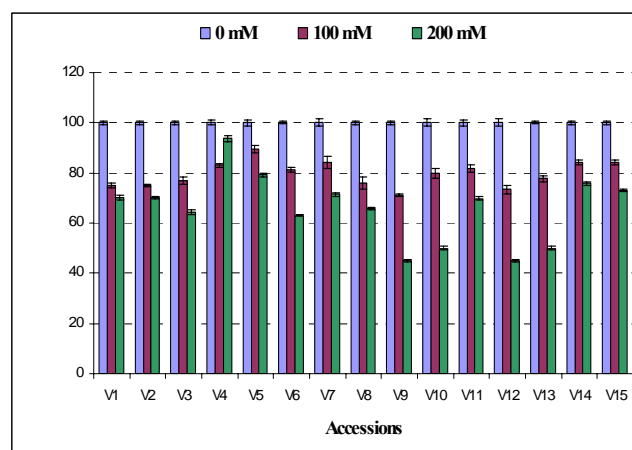
	S.C.E.	DDL	C.Moyens	TEST F
VAR.TOTALE	5155.94	224	23.02	
VARIETES	543.18	14	38.80	<b>32.07</b>
TRAITEMENTS	4001.21	2	2000.61	<b>1653.84</b>
VAR*TRAT	393.81	28	14.06	<b>11.63</b>
VAR.RESIDUELLE	217.74	180	1.21	

**Tableau 3 :** Classifications des accessions d'orge étudiées en groupes homogènes, selon le test de Newman Keuls, pour le traitement à 200 Mm

Variétés	Moyennes
Tozeur I	6,93 <sup>bc</sup>
Tozeur II	7,69 <sup>ab</sup>
Kébilli I	6,09 <sup>cd</sup>
Kébilli II	8,57 <sup>a</sup>
Kébilli III	8,08 <sup>a</sup>
Sidi Bouzid	6,71 <sup>c</sup>
Kasserine	5,20 <sup>d</sup>
Jendouba I	2,55 <sup>f</sup>
Jendouba II	2,67 <sup>f</sup>
Martin	5,48 <sup>d</sup>
Kalla	3,38 <sup>ef</sup>
Kélibia I	3,20 <sup>ef</sup>
Kélibia II	3,23 <sup>ef</sup>
Rihane	3,67 <sup>ef</sup>
Manel	3,90 <sup>c</sup>

### Longueur de la racine

Le résultat de l'étude du système racinaire sous différentes doses de sel est représenté dans la figure 3. A 6g de NaCl / l, la plupart des accessions a pu maintenir un pourcentage d'allongement racinaire assez élevé, variant entre 75 et 80 % par rapport au témoin. Par contre lorsque l'intensité du stress s'accroît (12g NaCl / l), toutes les accessions répondent négativement et de la même manière, à l'exception de Kebilli 2 et Kebilli 3 qui se montrent significativement les plus tolérantes au sel comparativement aux autres et particulièrement Kebilli 2 qui a montré un taux d'allongement racinaire suffisamment élevé (≈ 90% du témoin).



**Figure 3 :** Variation de la longueur de la partie souterraine, chez les différentes accessions d'orge, en fonction de l'intensité du stress salin.

### Conclusion

L'étude effectuée au laboratoire montre un effet variable du stress salin sur le taux de germination et la croissance de la partie aérienne et souterraine des différentes accessions d'orge étudiées, confirmant ainsi d'autres travaux [6, 15, 16] qui ont montré un effet similaire du stress salin sur la croissance de nombreuses espèces végétales. Les trois paramètres combinés (taux de germination, longueur de l'épicotyle et de la racine) font ressortir Tozeur 2 et Kébili 2 comme des accessions particulièrement tolérantes au sel, les accessions Kébili 3, Sidi Bouzid et Kasserine comme écotypes moyennement tolérantes, et Jendouba 1, Kallaa et Klibia 1 comme accessions sensibles. Ce sont les accessions du nord qui sont les plus sensibles, aux stades germination et plantule. Nos résultats montrent un effet dépressif du sel sur les différents paramètres de croissance et concordent avec ceux de Allah [15] qui a montré, lui aussi, que la croissance des tiges, des feuilles et des racines est significativement diminuée quand la salinité dépasse 4 g/l. L'action du sel, dans notre travail, est d'autant plus marquée que la concentration saline est élevée, confortant ainsi les résultats d'autres auteurs [13].

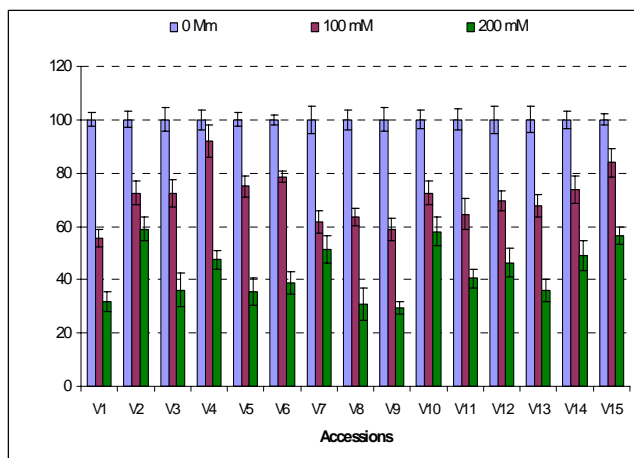
### Résultats des essais réalisés au champ

#### Effet du stress salin sur la croissance des plantes

##### Croissance en hauteur

La salinité affecte tous les processus physiologiques de la plante. Son effet se traduit, notamment, par une réduction de la croissance en hauteur (figure 4). L'effet de la salinité sur la croissance des tiges en hauteur montre bien que l'irrigation avec une eau chargée en sel n'induit pas le jaunissement des feuilles uniquement mais aussi provoque le raccourcissement des tiges. Ces constatations ont été similaires à celles faites par Ben Fattoum [17] sur citrus en conditions de stress salin, et à celles démontrés par Ben Naceur [12] sur les céréales. Les mesures des longueurs des tiges effectuées en fin de l'expérience montrent que le stress salin, même modéré (6 g/l), réduit la croissance en hauteur de toutes les accessions. Cette réduction varie de 8 (chez V4 = Kebilli 2) à 44% (chez V1 = Tozeur 1). Sous un

stress sévère (12 g/l), l'analyse de la variance, suivi du test de Newman-keuls, montre des différences qui ne sont pas significatives, en fait la croissance des plantes est encore plus réduite, cependant les accessions V2, V4, V7, V10, V14 et V15 maintiennent environ 50% de leur hauteur des tiges comparativement à leurs témoins respectifs (Tableau 4). Ce résultat confirme le comportement observé au laboratoire [18] et montre la supériorité des accessions issu du sud sur les autres. Par ailleurs, la pluviométrie enregistrée durant l'expérimentation était faible et mal répartie et ne semble pas influencer l'effet du sel sur les paramètres de croissance.



**Figure 4 :** Variation de la longueur de la partie aérienne, chez les différentes accessions d'Orges en fonction de l'intensité du stress salin.

**Tableau 4 :** Analyse de la variance du paramètre « hauteur du tige »

Accessions	Témoin	100 mM	200 mM
Tozeur I	61,5 <sup>f</sup>	34 <sup>k</sup>	19,33 <sup>h</sup>
Tozeur II	71,25 <sup>abcd</sup>	53,75 <sup>cd</sup>	42,75 <sup>a</sup>
Kébilli I	71,5 <sup>abcd</sup>	51,75 <sup>cde</sup>	25,5 <sup>f</sup>
Kébilli II	62,5 <sup>efg</sup>	57,75 <sup>a</sup>	29,5 <sup>de</sup>
Kébilli III	75,5 <sup>abc</sup>	54,75 <sup>bc</sup>	26,25 <sup>f</sup>
Sidi Bouzid	75 <sup>abc</sup>	57,75 <sup>ab</sup>	29 <sup>de</sup>
Kasserine	76,5 <sup>ab</sup>	45,5 <sup>gh</sup>	39,25 <sup>b</sup>
Jendouba I	69,25 <sup>bcde</sup>	43,25 <sup>hi</sup>	22,5 <sup>g</sup>
Jendouba II	67,25 <sup>def</sup>	39,5 <sup>i</sup>	18,25 <sup>h</sup>
Martin	59,75 <sup>g</sup>	42,25 <sup>i</sup>	36 <sup>c</sup>
Kalla	78,5 <sup>a</sup>	49,5 <sup>ef</sup>	30 <sup>de</sup>
Kélibia I	68,5 <sup>cdef</sup>	47,75 <sup>fg</sup>	30,5 <sup>de</sup>
Kélibia II	78,25 <sup>a</sup>	52,75 <sup>cde</sup>	27,25 <sup>ef</sup>
Rihane	64,25 <sup>defg</sup>	47,25 <sup>fg</sup>	30,25 <sup>de</sup>
Manel	53,75 <sup>h</sup>	50,25 <sup>def</sup>	32,25 <sup>d</sup>

### Réduction de la surface foliaire

Ce paramètre constitue un indicateur sensible de la tolérance des accessions aux stress de l'environnement. L'évolution de ce paramètre est illustrée dans le tableau 5.

**Tableau 5 :** variation de la surface foliaire en fonction des différentes accessions d'orge étudiées

Accessions	Témoin	100 mM	200 mM
Tozeur I	2553 <sup>e</sup>	818,75 <sup>g</sup>	783,33 <sup>c</sup>
Tozeur II	3573,81 <sup>cd</sup>	1281,75 <sup>ef</sup>	1015 <sup>b</sup>
Kébilli I	4300,68 <sup>ab</sup>	1855,87 <sup>bcd</sup>	1164,66 <sup>b</sup>
Kébilli II	4240,5 <sup>ab</sup>	2333,33 <sup>ab</sup>	1632 <sup>a</sup>
Kébilli III	4433,56 <sup>ab</sup>	2154,33 <sup>abc</sup>	1013,31 <sup>bc</sup>
Sidi Bouzid	4802,18 <sup>a</sup>	1879,37 <sup>bcd</sup>	1685,43 <sup>a</sup>
Kasserine	3294,18 <sup>cd</sup>	2553,75 <sup>a</sup>	1630,75 <sup>a</sup>
Jendouba I	4331,66 <sup>ab</sup>	2409,5 <sup>a</sup>	903 <sup>bc</sup>
Jendouba II	4749,68 <sup>a</sup>	1663,25 <sup>cde</sup>	731,66 <sup>c</sup>
Martin	4730 <sup>a</sup>	1625,33 <sup>de</sup>	733,68 <sup>c</sup>
Kalla	4560,56 <sup>a</sup>	1706,83 <sup>cde</sup>	1177,81 <sup>b</sup>
Kélibia I	3093,83 <sup>d</sup>	1878,33 <sup>bcd</sup>	851 <sup>b</sup>
Kélibia II	3843,81 <sup>bc</sup>	1575,33 <sup>de</sup>	824,25 <sup>bc</sup>
Rihane	3289,18 <sup>cd</sup>	921,33 <sup>fg</sup>	731,37 <sup>c</sup>
Manel	3371,66 <sup>cd</sup>	1239,83 <sup>ef</sup>	881,12 <sup>bc</sup>

Ce tableau montre qu'en conditions hydriques favorables, les accessions Kebilli 1, Kebilli 2, Kebilli 3, Sidi-Bouzid Jendouba 1 Jendouba 2, Martin et Kalaa donnent le meilleur développement foliaire comparativement aux autres accessions (surface foliaire  $\geq$  4000 mm<sup>2</sup>). Par contre, en conditions de stress salin (modéré ou sévère), la surface foliaire de toutes les accessions testées a subi une réduction importante par rapport aux témoins respectifs mais cette réduction est aussi variable, en fonction de l'intensité de stress et de l'accession en question. Les taux de réduction de la surface foliaire par rapport aux témoins respectifs montrent l'aptitude des accessions Kebilli 2 et Kasserine à maintenir une surface foliaire moins affectée que les autres (taux de réduction  $\leq$  40%) même sous un stress de 12 g/l. Au contraire les accessions Jendouba 1, Jendouba 2, Martin, Klibia 2 et Rihane se montrent plus sensibles et affichent des taux de réduction d'environ 80%. Nos résultats concordent avec celui de Garcia [20] et Lachaal [21] qui ont montré une réduction de la surface foliaire de certaines espèces végétales sous stress salin. Ils ont attribué la réduction de la photosynthèse à la diminution de la surface foliaire, à la fermeture des stomates et à la déficience de la fixation du gaz carbonique [12,19].

## Effet du stress salin sur les composantes du rendement

### Effet sur le nombre de grains/épi

Le tableau 6 représente la variation du nombre de grains/épi en fonction de l'intensité du stress salin. Dans les conditions hydriques favorables, ce paramètre est variable en fonction de la potentialité génétique de l'accession en question.

En conditions de stress salin, ce paramètre est réduit chez toutes les accessions et que la réduction est d'autant plus importante que l'intensité du stress est plus importante et que l'accession est plus sensible. En cas de stress sévère (12 g / l), les accessions V2 (Tozeur 2) et V6 (Sidi-Bouزيد) semblent être les moins touchées avec des pourcentages de réduction par rapport aux témoins respectifs  $\leq 30\%$ . Par ailleurs, il est à signaler que le nombre de grains par épi, à lui seul, ne constitue pas un critère de stabilité du rendement en grains.

En effet, on peut trouver un nombre de grains/épi élevé mais avec des grains échaudés ou mal remplis, ce qui affecte négativement le rendement. Au contraire, on peut avoir un nombre de grains/épi moyen ou même faible mais avec des grains bien remplis ce qui influence positivement le rendement final [22]. D'où la nécessité d'examiner le poids moyen des épis et de combiner les deux paramètres pour juger le rendement final [23].

**Tableau 6 :** Variation du nombre moyen des grains par épi en fonction du stress salin

Acessions	Témoin	100 mM	200 mM
Tozeur I	40,75 <sup>a</sup>	33,54 <sup>ab</sup>	10 <sup>e</sup>
Tozeur II	41,75 <sup>a</sup>	33,25 <sup>ab</sup>	31,56 <sup>a</sup>
Kébilli I	59,875 <sup>b</sup>	36,79 <sup>a</sup>	11,33 <sup>de</sup>
Kébilli II	47 <sup>a</sup>	28,41 <sup>abc</sup>	21,25 <sup>bcd</sup>
Kébilli III	37,75 <sup>a</sup>	28,58 <sup>abc</sup>	22,46 <sup>bc</sup>
Sidi Bouzid	33,75 <sup>a</sup>	30,95 <sup>abc</sup>	22,03 <sup>bc</sup>
Kasserine	37,5 <sup>a</sup>	30,95 <sup>abc</sup>	24,10 <sup>b</sup>
Jendouba I	35 <sup>a</sup>	16,08 <sup>f</sup>	14 <sup>cde</sup>
Jendouba II	36 <sup>a</sup>	14,58 <sup>f</sup>	9 <sup>e</sup>
Martin	36 <sup>a</sup>	27,29 <sup>abcde</sup>	13,33 <sup>cde</sup>
Kalla	36,5 <sup>a</sup>	18,95 <sup>def</sup>	21,56 <sup>bcd</sup>
Kélibia I	33 <sup>a</sup>	18,20 <sup>ef</sup>	19,75 <sup>bcd</sup>
Kélibia II	39,75 <sup>a</sup>	21,75 <sup>cdef</sup>	12,66 <sup>cde</sup>
Rihane	34,5 <sup>a</sup>	25,33 <sup>bcd</sup>	20,31 <sup>bcd</sup>
Manel	44,75 <sup>a</sup>	27,08 <sup>abcd</sup>	13,33 <sup>cde</sup>

### Effet sur le poids moyen des épis

L'examen du tableau 7 montre que du poids moyen des épis en conditions hydriques favorables montre que ce poids varie de 1,55 à 2,22 g.

**Tableau 7 :** Variation du poids moyen de l'épi en fonction du stress salin

Acessions	Témoin	100 mM	200 mM
Tozeur I	1,87 <sup>ab</sup>	1,28 <sup>ab</sup>	0,12 <sup>f</sup>
Tozeur II	2,23 <sup>ab</sup>	1,40 <sup>ab</sup>	0,89 <sup>a</sup>
Kébilli I	2,31 <sup>a</sup>	1,51 <sup>a</sup>	0,27 <sup>def</sup>
Kébilli II	1,69 <sup>b</sup>	1,02 <sup>abc</sup>	0,46 <sup>bcd</sup>
Kébilli III	1,83 <sup>ab</sup>	1,10 <sup>abc</sup>	0,48 <sup>bcd</sup>
Sidi Bouzid	1,69 <sup>b</sup>	1,09 <sup>abc</sup>	0,54 <sup>bc</sup>
Kasserine	1,83 <sup>ab</sup>	1,25 <sup>ab</sup>	0,68 <sup>b</sup>
Jendouba I	1,96 <sup>ab</sup>	0,92 <sup>bc</sup>	0,19 <sup>ef</sup>
Jendouba II	2,10 <sup>ab</sup>	0,61 <sup>c</sup>	0,18 <sup>ef</sup>
Martin	1,98 <sup>ab</sup>	0,94 <sup>bc</sup>	0,25 <sup>def</sup>
Kalla	2,01 <sup>ab</sup>	0,92 <sup>bc</sup>	0,37 <sup>cdef</sup>
Kélibia I	1,65 <sup>b</sup>	0,83 <sup>bc</sup>	0,30 <sup>cdef</sup>
Kélibia II	1,84 <sup>ab</sup>	1,04 <sup>abc</sup>	0,18 <sup>ef</sup>
Rihane	1,65 <sup>b</sup>	1,00 <sup>abc</sup>	0,38 <sup>cdef</sup>
Manel	2,06 <sup>ab</sup>	0,98 <sup>abc</sup>	0,25 <sup>def</sup>

Les accessions Sidi Bouzid, Klibia 1 et Rihane ont les poids les plus faibles malgré le nombre de grains élevé qu'elles ont enregistré. Par contre, les accessions Tozeur 2, Kebili 1, Jendouba 2, Martin et Manel ont affiché les poids des épis les plus élevés. Le résultat de l'étude des poids moyens des épis sous stress modéré (6 g NaCl / l) montre que toutes les accessions d'orge sont moyennement affectées; Sauf le cas de V8 (Jendouba 1), V9 (Jendouba 2), V10 (Martin), V11 (Kalaa) et V12 (Klibia 1) qui ont montré des poids moyens des épis faibles comparativement à leur témoins respectifs. Lorsque le stress est plus sévère (12 g NaCl / l), la diminution du poids moyen des épis est encore plus importante comparativement aux témoins et aux stress modérés (6 g NaCl / l), cependant, V2 (Tozeur 2), V5 (Kébilli 3), V6 (Sidi Bouzid) et V7 (Kasserine), ont pu maintenir une certaine stabilité de leur poids des épis en conditions du stress salin aussi bien modéré que sévère (6 et 12g / l). Ces dernières ont enregistrées des pourcentages de réduction les plus faible comparativement aux témoins respectifs. Bien que certaines accessions tolérantes continuent à former des tiges épiées en conditions de stress (Kébilli II et Tozeur II). Cependant, le poids moyen des épis est réduit chez la plupart des accessions. L'effet du stress sur ces deux paramètres combinés (nombre et poids)

influence fortement le rendement final [5, 13, 14]. Ces observations sont en accord avec le résultat de certains auteurs [24, 25] qui ont montré que, dans un milieu salin, les plantes ne répondent pas de la même manière à la salinité.

## CONCLUSION

Notre travail comporte deux volets. Le premier a été réalisé au laboratoire et a permis de montrer que les accessions étudiées se classent en trois groupes significativement différents. Le premier groupe est formé de Tozeur 2, Kébilli 2, variétés les plus tolérantes au sel, le deuxième groupe regroupe les variétés moyennement tolérantes : Kébilli 3, Sidi Bouzid et Kasserine, et le reste forment le troisième groupe qui comporte les accessions sensibles : (Jendouba 1, Kâllaa, Jendouba 2). Le second volet a été réalisé au champ. Les résultats montrent que l'irrigation des accessions d'orge à l'eau modérément salée (6 g/l) n'affecte pas significativement la croissance en hauteur, confirmant les travaux de Bouraoui et al. [7] mais que la surface foliaire est réduite chez la plupart des accessions, à l'exception de Kébilli II et Kasserine. Des irrigations avec une eau contenant 12 g/l de sel provoquent également une réduction de la biomasse aérienne (hauteur et surface foliaire), les accessions Kébilli II, Sidi Bouzid et Kasserine étant les moins affectées. Concernant le rendement en grains, nos résultats montrent que l'effet du stress salin est étroitement lié, à la fois, au poids moyen et au nombre d'épis par unité de surface. Il ressort donc que, dans des conditions d'irrigation avec l'eau salée, dans nos expérimentations, les accessions Tozeur II, Sidi Bouzid et Kasserine ont donné les meilleurs rendements estimés (nombre moyen des grains par épi et poids moyen des épis). Finalement, bien que Tozeur II, Kébilli II Kébilli III, Sidi Bouzid et Kasserine soient les moins affectées du point de vue biologique (tige et feuille), seules Sidi Bouzid et Kasserine se montrent parmi les accessions les moins affectées du point de vue production en grains. Ces deux accessions ont montré, dès le départ, des taux de germination élevés, même sous stress sévère, indiquant que le taux de germination pourrait être retenu comme critère précoce de sélection des espèces végétales tolérantes aux sels, comme cela a déjà été signalé par d'autres auteurs [13, 25, 26].

## REFERENCES

[1]- Ramage RT. Genetic methods to breed salt tolerance in plants. In : Rais DW, Hollaender RW, Hollaender A, eds. *Genetic engineering of osmoregulation*. New York : Plenum, 1980 : 311-8.

[2]- Braudeau E, Hachicha M. Guide du suivi de la salinisation des eaux et du sol : projet d'irrigation de la basse vallée de la medjerda et de Ras Djebel. *Sols de Tunisie. Bulletin de la direction des sols*, n° 18. Édit. : Direction des sols. Ministère de l'Agriculture de Tunisie, 1998 ; 249 p.

[3]- Ben Naceur M, Gharbi MS, Paul R. L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité

alimentaire en Tunisie, en matière de céréales. *Sécheresse*, vol 10 (1999), pp. 27-33.

[4]- Toumi D. Incidence de NaCl et du Ca<sup>2+</sup> sur le comportement morphologique et physiologique de jeunes plants de bigaradier (*Citrus aurantium* L.). Mémoire de fin d'études du cycle de spécialisation de l'INAT, 2005 : 160 p.

[5]- Mallek E. Influence de la salinité sur certains aspects physiologiques et métaboliques de la tolérance au sel de tomates sensibles et résistantes. Thèse de doctorat en UFR de biologie. Paris : Science de la Nature, 2001.

[6]- Mallek-Maalej E, Boulasnem F, Ben Salem M. Effet de la salinité sur la germination de graines de céréales cultivées en Tunisie. *Cahiers Agriculture*, vol 12, (2004), pp 153-6.

[7]- Bouraoui N, Grignon C, Zid E. Effet de NaCl sur la croissance et la respiration racinaire du triticale (X-Triticosecale Wittmack). *Cahiers Agricultures*, vol 10, (2002) , pp 372-6.

[8]- Slam A. Effet d'une contrainte hydrique édaphique sur le développement du système racinaire de deux variétés de blé dur. DEA de la Faculté des Sciences de Tunis, (2006), 87 p.

[9]- Maamouri A, Deghais M, El Felah, Halila H. Les variétés de céréales recommandées en Tunisie. Document technique, (2006) : 41-51.

[10]- Hedhly K. Evaluation de la tolérance de certains génotypes de tomate vis-à-vis du stress salin. Mémoire de fin d'étude du cycle ingénieur de l'école supérieure des Ingénieurs de l'Équipement Rural de Medjaz EL-Bab, Tunisie, (2006), 98 p.

[11]- Ittleilia, J. Evaluation de la tolérance de certains génotypes de tomate vis-à-vis du stress hydrique. Mémoire de fin d'études du cycle Ingénieur de l'école Supérieure des Ingénieurs de l'Équipement Rural de Medjaz EL-Bab, Tunisie, (2007), 75 p.

[12]- Ben Naceur M, Rahmoune C, Sdiri H, Meddahi ML, Selmi M. Effet du stress salin sur la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse*, vol 12 (2001), pp 167-174.

[13]- Allagui MB, Andreotti VC, Cuartero J. Détermination de critères de sélection pour la tolérance de la tomate à la salinité. À la germination et au stade plantule. *Ann INRAT* , vol 67, (2005), pp 45-65.

[14]- Rachidai A, Driouich A, Ouassou A, El Hadrami I. Effet du stress salin sur la germination du blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Rev Amélior Prod Agr Milieu Aride*, vol 6, (2000), pp 209-211.

[15]- Allah CR. Grown tomato under saline conditions. In : Allah CR, ed. *Plant Salinity. Research, New Challenges*, (1999), pp 201-1203.

[16]- Garcia-Legaz MF, Ortiz JM, Garcia-Lidon A, Cerda A. Effect of salinity on growth, ion content and CO<sub>2</sub> assimilation rate in lemon varieties on different rootstocks. *Physiologia Plantarum*, vol 89, (1993), pp 427-430.

- [17]- Ben Fattoum M. Evaluation de la tolérance au stress salin de certains porte-greffes de citrus. Mémoire de diplôme des études approfondies de l'INAT, Tunis. (2003), 85 p.
- [18]- Belhouche H. *Stratégie d'utilisation des eaux saumâtres sur une culture de maïs doux (Zea mays)*. Mémoire de fin d'étude du cycle de spécialisation de l'Inat, (1996), 97 p.
- [19]- Touraine B, Ammar M. Étude comparée de la sensibilité aux sels d'un triticale et d'une orge. *Agronomie*, vol 5 (1985), pp 391-324.
- [20]- Bizid E, Zid E, Grignon C. Tolérance à NaCl et sélectivité  $K^+/Na^+$  chez les triticales. *Agronomie*, vol 8 (1988), pp 23-27.
- [21]- Garcia A, Rizzo CA, VD-Din J, Bartos SI, Sendhira D, Flowres TJ, et Yeo AR. Sodium and potassium transport to the xylem are inherited independently in rice, and the mechanism of sodium: potassium selectivity differs between rice and wheat. *Plant cell environ*, vol 20 (1997), pp 1167-1174.
- [22]- Lachall M, Abdelly C, Grignon C, Soltani A et Hajji M. Variation de la sensibilité au sel en fonction du stade de développement chez la lentille (*Lens culinaris*). *Agronomie*, vol 28 (2005), pp 381-390.
- [23]- Houchi R, Coudret A. La sélection de triticale tolérante au sel. *Cahiers Agricultures*, vol 3 (1994), pp 211-214.
- [24]- Kingsbury RWL, Epstein E. Selection for salt resistant spring wheat. *Crop Sci*, vol 52 (2002), pp 310-314.
- [25]- Mezni M, Bizid E, Hamza H. Effets de la salinité des eaux d'irrigation sur la survie et la croissance de trois cultivars de luzerne pérenne. *Fourrages*, vol 158 (1999), pp 169-78.
- [26]- Norlyn JD, Epstein E. Variability in salt tolerance of four triticale lines at germination and emergence. *Crop Sci* (1999), pp 1090-1099.
- [27]- Zide E, Grignon C. Les tests de sélection pour la résistance des plantes aux stress : cas des stress salins et hydriques. In : *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*. II Journées scientifiques du réseau biotechnologies végétales. Tunis, 4-9 décembre. Éd. AUPELF-UREF, (1989), 105-25.