

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للفلاحة - الحراش - الجزائر
École Nationale Supérieure Agronomique -El Harrach -Alger

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Magister en Sciences Agronomiques**

**Ecole Doctorale : Amélioration des Productions Végétales
et Ressources Génétiques**

THÈME

**Approches physiologiques et métaboliques pour la sélection
de variétés d'orge tolérantes vis-à-vis d'une contrainte saline**

Présenté par : M. Zerroumda Med Elfateh

Devant le Jury composé de :

Président : M. OUNANE S.M. Professeur, ENSA Alger
Promoteur : Mme. ABROUS O. Professeur, USTHB Alger
Examineurs : Mme. MEKLICH L. Professeur, ENSA Alger
M. DJEBBAR R. Maître assistant, USTHB Alger

2011-2012

Remerciements

J'exprime ma profonde gratitude et toute ma reconnaissance envers ma directrice de thèse, Madame Abrous O. professeur à la faculté des sciences biologiques de l'Université des Sciences et Technologie Houari Boumediene, pour sa patience, ses avis, son soutien et sa confiance, dont j'ai bénéficiés à tous leurs égards.

C'est avec beaucoup de reconnaissance que j'adresse mes sincères remerciements à Monsieur Ounane S.M. professeur à l'ENSA d'El Harrach, d'avoir accepté de présider le jury de thèse.

Mes remerciements vont aussi à Madame Mekliche L. professeur à l'ENSA d'El Harrach, à Monsieur Djebbar R. Maître-assistant à la faculté des sciences biologiques de l'USTHB, pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant d'être examinateurs et membres du jury.

Ce travail n'est pas uniquement le mien, un grand-nombre de personnes ont contribué à son aboutissement. Je tiens à remercier d'une manière très spéciale, tous ceux qui ont collaboré avec moi ; à Samir pour les différentes analyses effectués à l'INSID, à Leila K. et Leila D., pour leur aide au laboratoire. Ils m'ont toujours aidé par leur disponibilité et leur attention, sans oublier Yacine, Abdelaali, hamdi, belkacem et lazali pour leur aide et leur soutien moral.

Mes remerciements vont aussi à mes amis et collègues, Abdellah, Bilal, Omar, Tarek, Smail et Mokran, pour l'ambiance conviviale et les bons moments passés en leur compagnie, à toute la promotion de l'école doctorale, Amélioration des productions végétales et ressources génétiques.

Enfin, j'adresse une pensée particulière à mes proches et membres de ma famille, qui m'ont toujours soutenu et encouragé tout au long de mes études. Je remercie particulièrement ceux qui ont donné un sens à mon existence, à ceux qui m'ont soutenu durant tout mon parcours : A vous mes très chers parents à qui je ne saurais jamais exprimer toute ma reconnaissance, qu'ils trouvent ici l'accomplissement de leurs vœux et l'expression de ma profonde gratitude, ainsi que le témoignage de mon affection et tendresse.

Liste des tableaux

Tableau 1: Classe de salinité des sols en fonction de leurs effets sur les plantes.	3
Tableau 2: Estimation du pourcentage des terres irriguées atteintes par la salinisation dans certains pays de la méditerranée.	5
Tableau 3: Superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'ouest d'Algérie.	7
Tableau 4: Principes pour l'utilisation des eaux salines en irrigation pour différentes cultures.	8
Tableau 5: Evolution des superficies, productions et rendements de l'orge en Algérie (2000/2006).	11
Tableau 6: Caractéristiques des variétés d'orges étudiées.	21
Tableau 7: Tolérance de l'orge à la salinité.	22
Tableau 8: Résultats et interprétation des analyses physiques et chimiques du sol.	29
Tableau 9: Effet des différentes concentrations en NaCl sur le rapport de la masse de matière sèche de la partie aérienne / la masse de matière sèche des racines.	35
Tableau 10: Effets des différentes concentrations en NaCl sur le rapport chlorophylle a / chlorophylle b.	43
Tableau 11: Effet des différentes concentrations en NaCl sur le rapport K^+ / Na^+	49

Liste des figures

Figure 1: Distribution globale de terres affectées par la salinité dans le monde.	4
Figure 2 : Carte des zones affectées par la salinité dans le nord d'Algérie.	6
Figure 3 : Diversité de la tolérance au sel de diverses espèces.	12
Figure 4 : Système de drainage et vue générale du dispositif expérimental.	23
Figure 5 : Courbe étalon de la proline.	25
Figure 6 : Courbe étalon des sucres solubles.	26
Figure 7 : Effets des différentes concentrations en NaCl sur la teneur relative en eau des deux variétés d'orge.	30
Figure 8 : Effets des différentes concentrations en NaCl sur la surface foliaire des deux variétés d'orge.	31
Figure 9 : Effets des différentes concentrations en NaCl sur le nombre des talles des deux variétés d'orge.	32
Figure 10: Effets des différentes concentrations en NaCl sur la masse sèche de la partie aérienne des deux variétés d'orge.	33
Figure 11: Effets des différentes concentrations en NaCl sur la masse sèche racinaire des deux variétés d'orge.	34
Figure 12: Effets des différentes concentrations en NaCl sur le rendement en grain des deux variétés d'orge.	37
Figure 13: Effets des différentes concentrations en NaCl sur la teneur en proline des deux variétés d'orge.	39
Figure 14: Effets des différentes concentrations en NaCl sur la teneur en sucres solubles des deux variétés d'orge.	40
Figure 15: Effets des différentes concentrations en NaCl sur la teneur en chlorophylles totales des deux variétés d'orge.	41
Figure 16: Effets des différentes concentrations en NaCl sur la teneur en caroténoïdes des deux variétés d'orge.	43
Figure 17: Effets des différentes concentrations en NaCl sur la fuite relative d'ions des deux variétés d'orge.	44

Figure 18: Effets des différentes concentrations en NaCl sur la teneur en sodium des deux variétés d'orge.	46
Figure 19: Effets des différentes concentrations en NaCl sur la teneur en potassium des deux variétés d'orge.	47
Figure 20: Effets des différentes concentrations en NaCl sur la teneur en calcium des deux variétés d'orge.	48

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre 1. Synthèse bibliographique	
I- Problématique de la salinité en Agriculture	3
II- Importance de la culture de l'orge dans le monde et en Algérie	9
III- Physiologie de la tolérance des plantes à la salinité.	12
III-1 L'ajustement osmotique	15
III-2 Exclusion ou inclusion des ions	16
III-3 Sélectivité ionique (K^+/Na^+ , Ca^{++}/Na^+)	17
III-4 Mécanismes de défense contre le stress oxydatif	18
III-5 Mécanismes moléculaires	18
IV- Critères de sélection pour la tolérance à la salinité	19
Chapitre 2. Matériel et Méthodes	
I- Site expérimental	21
II- Matériel végétal	21
III- Conduite de l'essai	21
IV- Application du stress et choix des doses de salinité	22
V- Détermination des besoins en eau	22
VI- Dispositif expérimental adopté	23
VII- Les caractères étudiés	24
A. Les caractères agronomiques	24
1. Le rendement en grains	24
2. Mesure de la masse sèche aérienne et racinaire	24
3. Le nombre des talles	24
4. Mesure de la surface foliaire totale	24
B. Les caractères physiologiques	24
1. Dosage de la proline	26
2. Extraction et dosage des sucres solubles	27
3. Dosage des pigments photosynthétiques	27
4. Détermination du statut de l'eau	27
5. Estimation de l'intégrité membranaire	27
6. Dosage des éléments minéraux (Na^+ , K^+ et Ca^{++})	28

VIII-Traitement des données	28
-----------------------------	----

Chapitre 3. Résultats et discussion

I. Résultats

2 Les caractéristiques physico-chimiques du sol utilisé.	29
3 Effets des différentes concentrations en NaCl	
3-1 sur la teneur relative en eau.	30
3-2 sur la surface foliaire.	31
3-3 sur le nombre des talles.	32
3-4 sur la masse sèche de la partie aérienne.	33
3-4 sur la masse sèche racinaire.	34
3-5 sur le rapport de la masse de matière sèche de la partie aérienne / la masse de matière sèche des racines	35
3-6 sur le rendement en grain	37
3-7 sur la teneur en proline.	38
3-8 sur la teneur en sucres solubles.	39
3-9 sur la teneur en chlorophylles totales.	41
3-10 sur la teneur en caroténoïdes.	42
3-11 sur le rapport chlorophylle a / chlorophylle b.	43
3-12 sur la fuite relative d'ions.	44
3-13 sur la teneur en sodium.	46
3-14 sur la teneur en potassium.	47
3-15 sur la teneur en calcium.	48
3-16 sur le rapport K^+/Na^+	49

II. Discussion générale

Conclusion	50
Références Bibliographiques	64
	67

Introduction générale

Dans les zones arides et semi-arides, la rareté des eaux, leur salinité ainsi que celle du sol sont parmi les principaux facteurs limitant la productivité des cultures (Ashraf, 1994). Selon les estimations de la FAO (2008), la salinité touche environ un milliard d'hectares dans le monde et elle est observée sur tous les continents. En effet, parmi les 200 millions d'hectares irrigués, 45 millions sont affectés par la salinité.

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

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

En réponses aux divers stress environnementaux, les plantes ont développé un certain nombre de stratégies au niveau anatomique, physiologique, biochimique et moléculaire. De nombreuses études ont montré que des changements au niveau de la conductance stomatique, l'absorption de l'eau et des nutriments, des osmolytes et des antioxydants jouent un rôle dans la tolérance au stress (Bray, 1997 ; Ingram and Bartels, 1996).

Malheureusement, la plupart des espèces cultivées importantes sur le plan économique sont très sensibles aux conditions de salinité (Hopkins et Evrard, 2003) et ne peuvent tolérer que de faibles quantités de sel.

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

Les végétaux ont un potentiel génétique pour tolérer les stress environnementaux et la variabilité intra-spécifique dans la tolérance aux stress permet d'envisager une amélioration variétale. La résistance au stress dépend aussi du stade de développement, des techniques culturales, et des conditions climatiques et édaphiques. Il est actuellement admis que l'élucidation des mécanismes physiologiques, biochimiques et moléculaires de la tolérance au stress salin contribuerait à la création de variétés tolérantes au sel.

Le présent travail s'inscrit dans ce contexte, il consiste à étudier le comportement de deux génotypes d'orges algériennes les plus cultivées à grande échelle à savoir Saïda et Tichedrett vis-à-vis d'une contrainte saline de Chlorure de Sodium. L'étude entreprise est effectuée sur la base d'approches physiologiques, biochimiques, métaboliques et agronomiques (teneur relative en eau, intégrité membranaire, biomasse sèche totale racinaire et foliaire, le nombre des talles ainsi que la surface foliaire totale, concentration en éléments minéraux au niveau foliaire (Na^+ , K^+ et Ca^{++}), pigments foliaires, sucres solubles et proline et rendement en grains)

Les retombées attendues des recherches entreprises se situent à plusieurs niveaux :

- une meilleure compréhension de la réponse au stress salin tant au niveau cellulaire qu'à l'échelle de la plante ;
- identifier des marqueurs potentiels de tolérance au stress ce qui permettrait d'envisager l'obtention de variétés tolérantes.

Synthèse bibliographique

I- Problématique de la salinité en Agriculture

La salinisation est définie comme étant le processus pédologique ou l'ensemble de mécanismes suivant lesquels le sol s'enrichit en sels solubles, dont notamment le sodium, sous forme dissoute, échangeable ou précipité, acquérant à un degré plus ou moins fort le caractère salin (Lozet et Mathieu, 1990).

La salinité du sol est déterminée par la mesure de la conductivité électrique (CE) exprimée en décisiemens par mètre (ds/m) qui traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant. Elle est proportionnelle à la concentration des sels minéraux dissous. La salinité peut également être exprimée en gramme par litre (g/l) où $1\text{ds/m}=0,64\text{g/l}$, en millimolaire (mM) où $1\text{ds/m}=10\text{mM}$, en milliéquivalent par litre (meq/l) où $1\text{ds/m}=10\text{meq/l}$.

Les sols sont dits salés lorsque leur conductivité électrique est supérieure à 4 ds/m (USDA-ARS, 2008) équivalente approximativement à 40 mM de NaCl (2,5g/l) et qui génère une pression osmotique équivalente à 0,2 MP. En effet, cette définition de la salinité dérive de la CE qui réduit de manière significative le rendement de la plupart des cultures (Munns et Tester, 2008). Le tableau n°1 montre bien les différentes classes de sol salin en fonction de leurs effets sur la croissance et le rendement des plantes.

Tableau 1 : classe de salinité des sols en fonction de leurs effets sur les plantes (Abrol *et al.*, 1988).

Classe	CE (dS/m)	Effet sur la croissance et le rendement des plantes
Non salin	0-2	Effet de la salinité négligeable.
Légèrement salin	2-4	Certaines plantes sensibles peuvent être affectées (la plupart des cultures maraichères et certaines légumineuses à graines). Les céréales ne sont pas affectées en général.
Modérément salin	4-8	La croissance et le rendement de la plupart des plantes sont restreints (les légumineuses annuelles sont très affectées. Le blé et l'avoine sont affectés).
Fortement salin	8-16	Seules les plantes tolérantes au sel ne sont pas affectées (absence des légumes annuelles, les arbres fruitiers peuvent mourir, l'orge et le seigle sont affectés).
Très fortement salin	> 16	Seul un très petit nombre de plantes tolérantes au sel ont une croissance ou un rendement satisfaisant.

La FAO (2008) estime que plus de 6% des terres agricoles dans le monde (800 millions d'hectares) sont affectées par la salinité, et parmi les 200 millions d'hectares irrigués, 45 millions sont affectés par la salinisation secondaire.

L'origine des sels responsable de cette salinisation est diverse, on peut distinguer deux types de salinisation :

- 1- la salinisation primaire qui est due principalement aux sels qui ont pour origine le processus d'altération des roches.
- 2- la salinisation secondaire qui est due principalement aux sels qui ont pour origine les eaux des nappes, les cours d'eau et les retenues, qui se retrouvent dans les eaux d'irrigations et peuvent saliniser les sols, si des précautions nécessaires ne sont pas prises (Cherbuy, 1991).

La figure n°1 montre la distribution globale de terres affectées par la salinité dans le monde. Ainsi, les sols salés se rencontrent dans toutes les régions du monde. Ils se trouvent non seulement dans les milieux arides et semi-arides (Szablocs, 1993), mais aussi fréquemment dans les plaines fertiles alluviales, les vallées de rivière et les régions côtières (Passerakli, 1999).



Figure 1 : Distribution globale de terres affectées par la salinité dans le monde (Szabloc, 1994).

Dans les pays méditerranéens, l'aridité du climat, le pouvoir évaporant de l'air très élevé, les pratiques agricoles, l'irrigation non contrôlée avec des eaux chargées en sels solubles, la texture fine des sols, le mauvais drainage, constituent les principaux facteurs qui favorisent la salinisation des sols, ce qui contribue au processus de salinisation qui s'étend dans la région à un taux accéléré et qui créera de graves problèmes économiques (Hamdy, 1995). (Tableau 2).

Tableau 2: Estimation du pourcentage des terres irriguées atteintes par la salinisation dans certains pays de la méditerranée (World resources, 1987).

Pays	% des terres atteintes	pays	% des terres atteintes
Algérie	10-15	Grèce	7
Chypre	15-25	Jordanie	16
Egypte	30-40	Maroc	10-15
Espagne	10-15	Syrie	30-35

Vue l'importance de ce phénomène, de nombreux travaux ont étudié la salinité et la sodicité des sols d'Algérie (Durand, 1954 ; Halitim, 1973 ; Daoud, 1983 ; Daoud *et al.*, 1993 ; Djili, 2000 ; Touaf, 2002 ; Douaoui, 2005). Il ressort de ces travaux que la salinité en Algérie est d'origine primaire et que la salinisation secondaire contribue à l'extension spatio-temporelle de la salinité (Hadj Miloud, 2010).

Sur les 6.488.896 ha cartographiés en Algérie, environ 1.096.731 ha sont constitués par des sols salés (Chabane et Benreda, 1997), la plupart de ces sols salés sont situés en région aride et semi-aride, mais on les rencontre également sous bioclimat subhumide (carte Figure 2). Ces sols sont abondants dans les basses plaines et vallées d'Oranie et la vallée de la Mina près de Relizane, sur les hautes plaines au Sud de Sétif et de Constantine, aux bords des chotts et dans les régions sahariennes. Cependant, le niveau de salinité de ces sols est variable, il diffère d'une région à une autre en fonction de plusieurs paramètres tels que la géologie, le climat, les pratiques culturelles et la qualité des eaux d'irrigation.

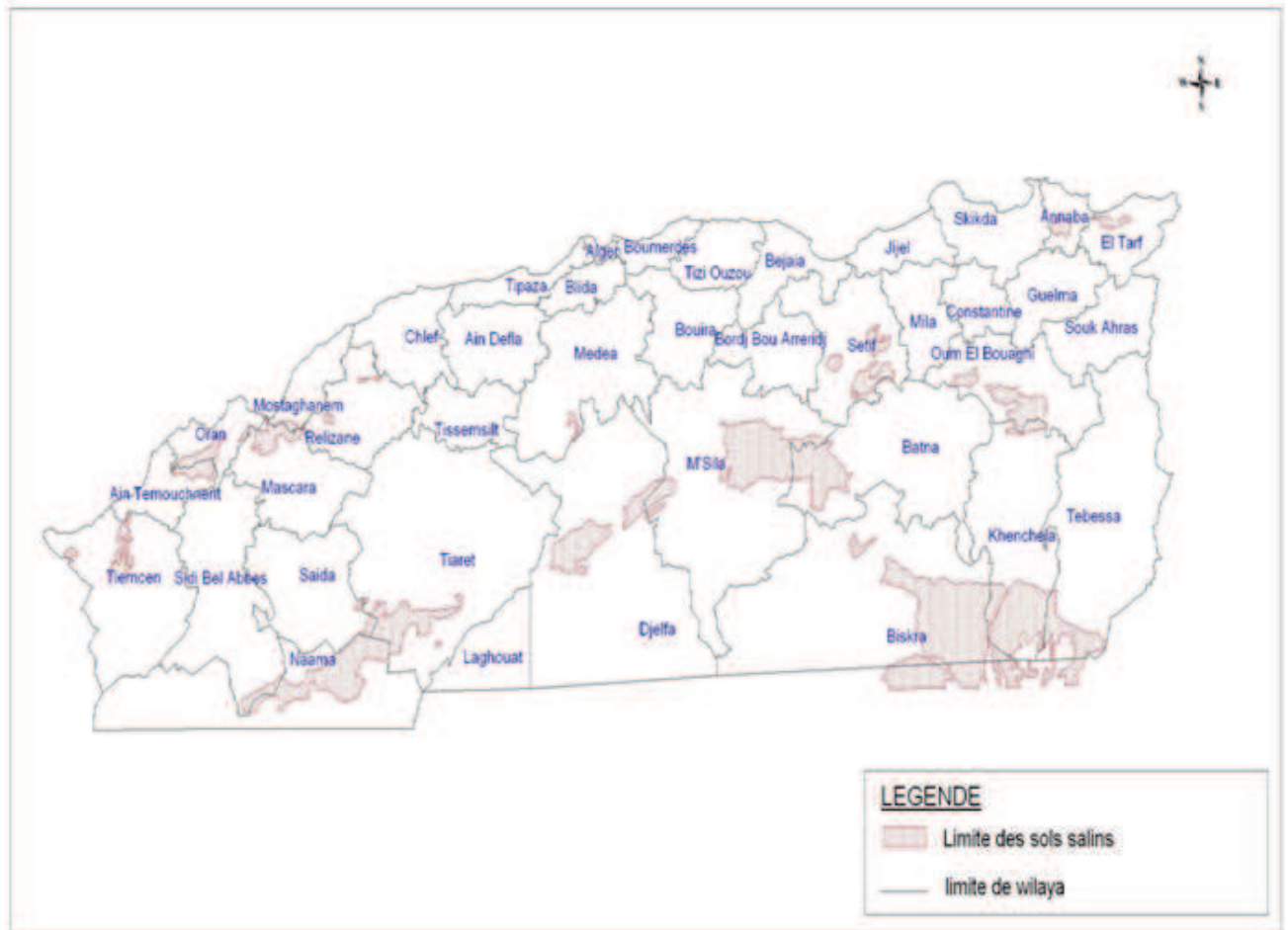


Figure 2: Carte des zones affectées par la salinité dans le nord d'Algérie (INSID, 2008)

En Algérie, deux exemples peuvent être présentés pour illustrer le problème de la salinité, l'exemple des grands périmètres irrigués de l'ouest du pays, ainsi que les périmètres de mise en valeur du sud.

Plusieurs projets à caractères hydro-agricoles ont été mis en œuvre dans les grandes plaines agricoles du pays depuis l'ère coloniale, comme les plaines du Chélif, de la Mina et de Habra. Un constat de salinisation s'est depuis vérifié dans la plupart de ces grands périmètres irrigués et plus particulièrement pour ceux de la région ouest (Aquastat, 2005). Au niveau de ces grands périmètres, les superficies affectées par la salinité constituent 32 à 67 % des terres irriguées, ce qui correspond à plus de 45000 ha (Tableau 3).

Tableau 3: Superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'ouest d'Algérie (AGID, 2003).

Périmètres irrigués	Superficies irrigables (ha)	Superficies affectées (ha)	%
Haut Cheliff	20200	6400	32
Moyen Cheliff	21800	8700	40
Bas Cheliff	22500	15000	67
Mina	9600	4190	44
Habra	19600	8100	41
Sig	8600	3200	37

Par ailleurs, dans le sud du pays, le développement de la céréaliculture a été lancé au début des années quatre-vingt afin d'augmenter la production céréalière dont les niveaux de rendement en agriculture pluviale sont faibles. Dans ces zones sahariennes, le sol présente un faible niveau de fertilité, les réserves hydriques sont importantes, non renouvelables et diversement minéralisées et les besoins en eau des cultures sont élevés à cause d'une forte demande climatique (Daoud et Halitim, 1994).

Cette expérience de mise en valeur n'a pas abouti aux résultats escomptés et se trouve confrontée à de nombreux problèmes qui affectent la production agricole (Djili *et al.*, 2003) ; le principal effet enregistré est la salinisation secondaire des sols suite à l'effet cumulé des irrigations avec des eaux minéralisées. Dans la région d'Adrar, des accumulations importantes en sels solubles dans l'horizon de surface après seulement 4 campagnes ont été notées, la salinité est passée de 2.55 dS/m dans le site témoin classé peu salé à 12.5 dS/m dans le site cultivé pour la quatrième année, classé très salé (Ziza, 2006).

Cependant, plusieurs exemples de succès ont été enregistrés avec l'emploi des eaux salées dans les régions méditerranéennes et du Moyen Orient. Les eaux salées de l'oued Medjerda en Tunisie (une conductivité électrique moyenne annuelle de 3 dS/m) ont été utilisées pour irriguer le sorgho, l'orge, la luzerne, le rays grass et l'artichaut.

Certaines cultures maraichères, des céréales, de la luzerne et des dattiers ont été irriguées avec succès avec des eaux de 3g/l de sel au Bahreïn et de 2,4 à 6 g/l au Koweït (Hamdy, 1995).

Toutefois, il faut noter que les niveaux de tolérance des différentes cultures à la salinité ne sont pas constantes, car il existe des facteurs qui influencent la réponse des plantes à la salinité tels que : les pratiques culturales, le climat et le type de sol et ses caractéristiques physico chimiques.

Le tableau 4 présente les limites d'utilisation des eaux salines en irrigation pour différentes catégories de culture (Sensible(**S**), semi-Tolérante(**ST**) et Tolérant(**T**)) en fonction du climat (les précipitations) et de la texture du sol.

Tableau 4 : principes pour l'utilisation des eaux salines en irrigation selon les différents types de sol et la tolérance des cultures à la salinité (Sharma et Singh, 1991).

Texture du sol (taux d'argile)	Tolérance des cultures	Limites supérieures de la CE des eaux d'irrigation dS/m dans des zones à différentes précipitations (p)		
		P<350 (mm)	350<P<550 (mm)	550<P<750 (mm)
Fine (>30%)	S	1.0	1.0	1.5
	ST	1.5	2.0	3.0
	T	2.0	3.0	4.5
Moyennement fine (20-30)	S	1.5	2.0	2.5
	ST	2.0	3.0	4.5
	T	4.0	6.0	8.0
Moyennement grossière (10-20)	S	2.0	2.5	3.0
	ST	4.0	6.0	8.0
	T	6.0	8.0	10.0
Grossière (<10%)	S	-	3.0	3.0
	ST	6.0	7.5	9.0
	T	8.0	10.0	12.5

S : Sensible ST : semi-Tolérante T : Tolérante

II- Importance de la culture d'orge dans le monde et en Algérie

L'orge est probablement la plus ancienne espèce cultivée par l'homme, dont la culture remonte, aux périodes 5000 à 7000 ans avant J.C. (Poehlman, 1985). C'est la céréale dont la distribution géographique est la plus vaste, du fait de sa précocité, de son potentiel de productivité en zones arides, tropicales, voire salées ou d'altitude et en raison de sa rusticité (Ceccarelli *et al.*, 1995). Sa distribution géographique couvre l'Europe, l'Afrique du Nord, l'Ethiopie, l'Asie, pour atteindre la Corée et le Japon. Cette distribution, très large, s'accompagne d'une diversité morphologique et adaptative très importante.

L'orge a été utilisée pratiquement partout dans le monde comme une espèce modèle pour la recherche biologique, c'est une espèce diploïde avec un nombre réduit de chromosomes ($2n = 14$). L'autogamie prédomine, mais on observe une certaine allogamie variable selon les génotypes et les conditions de production (Bonjean et Picard, 1990). Lorsque les trois épillets d'un même étage florifère sont fertiles, l'orge est dite à 6 rangs et lorsque seuls deux épillets central sont fertiles, on parle d'orge à 2 rangs (Simon *et al.*, 1989). L'orge est aussi le fourrage de référence, puisque 1kg de grain est l'équivalent de l'unité fourragère, contenant 75g de matières azotées, qui en font un aliment très apprécié, pouvant se conserver très longtemps (Somel, 1990).

Aujourd'hui, l'orge est l'une des sept céréales les plus cultivées dans le monde, elle occupe actuellement le quatrième rang dans la production mondiale derrière le maïs, le blé et le riz et avant le sorgho, l'avoine et le seigle; en 2008, la production mondiale de l'orge était d'environ 138 millions de tonnes produites sur 56,6 millions d'hectares (FAO, 2008).

En Algérie, Sur les 8 millions d'hectares de superficie agricole utile (S.A.U), les céréales occupent annuellement, en moyenne, près de 6,2 millions d'hectares dont 2,6 en jachère, soit 80 % de la S.A.U. (Rachedi, 2003). Du point de vue importance, l'orge occupe la seconde place après le blé dur. Sa superficie varie annuellement de 200.000 à plus d'un million d'ha. Cependant les rendements restent faibles et variables d'une année à l'autre de 5 à 15 q/ha (Tableau n°5), avec des productions qui ne couvrent pas toujours les besoins à l'exception de quelques années, comme c'est le cas en 2009 où on a enregistré un surplus de production.

Tableau 5 : Evolution des superficies, productions et rendements de l'orge en Algérie (2000 / 2006) (MADR, 2006).

Période	Superficies (ha)	Production (q)	Rendements (qx/ha)
2000	215630	1632870	7,6
2001	515690	5746540	11,1
2002	401400	4161120	10,4
2003	782380	12219760	15,6
2004	915440	12116000	13,2
2005	684648	10328190	15,1
2006	812280	12358800	15,2

L'importance de cette céréale lui confère une valeur stratégique dans l'alimentation animale, comme plante fourragère et céréalière. L'orge a le plus souvent des usages mixtes. Elle constitue presque l'unique ressource des exploitations offertes aux animaux sous forme de grain, de paille, d'orge déprimée à pâturer en hiver et de chaume en été. L'orge offre dans ces écosystèmes, l'avantage d'une utilisation souple selon ce que sera le climat. Ceci explique l'attachement des agriculteurs à cette culture, bien que ses rendements soient souvent faibles (Hakimi, 1989).

Le cycle biologique de l'orge est annuel constitué d'une série de stades qui peuvent être divisés en deux périodes distinctes :

- la période végétative durant laquelle la plante développe des feuilles et des racines.
- la période reproductive durant laquelle se forment l'épi et les grains.

I.3.1-Période végétative

a - Germination : Durant cette phase, le coléorhize sort de l'enveloppe du grain et donne une racicule, d'où sont émises des racines primitives ; le coléoptile sort du grain et forme un étui protégeant la première feuille.

b - Levée : C'est le développement des premières feuilles à l'extérieure du sol.

c - Tallage : C'est le stade où des bourgeons se forment à l'aisselle des premières feuilles et donnent des talles. Chaque talle primaire donne des talles secondaires qui apparaissent alors à partir de la base du plateau de tallage.

1. Période reproductive

a - Montaison : A ce stade, la croissance et le développement de la céréale sont en phase exponentielle. Durant ce stade se différencient les ébauches de l'inflorescence (épillets, glumelles, étamines, ovaires) à partir des fleurs latérales.

b – Gonflement : La gaine de la dernière feuille se trouve gonflée par l'épi encore dans la tige. Durant ce stade, la méiose pollinique commence et les grains de pollen s'élaborent.

C – Epiaison : Elle correspond à la sortie de l'épi de la gaine de la dernière feuille ; ce stade correspond au moment où 50% des épis sont à moitié sortis des gaines des dernières feuilles. A ce stade, les fleurs de la base de l'épi, les moins développées, dégénèrent.

d - Floraison : Elle correspond à l'apparition des étamines sur l'épi ; à ce stade, la fécondation a déjà eu lieu. Elle marque la fin de l'épiaison et le début de la formation du grain ; elle commence dans le tiers moyen de l'épi puis gagne le sommet et la base.

e – Maturation : Durant cette phase, il y a migration des réserves vers les grains ; quand la céréale est mûre, le végétal est sec et les grains des épis sont chargés de réserves.

III- Physiologie de la tolérance des plantes à la salinité

La tolérance au sel s'exprime habituellement en termes de production de biomasse, elle peut être définie comme étant le pourcentage de biomasse produite par une plante dans un sol salin rapporté à la production en biomasse dans un sol non-salin, après croissance pendant une période de temps (Hue et Shmidhalter, 2004), ou en terme de diminution de rendement associée à l'accroissement de la salinité du sol (Mass et Hoffman, 1977). Cependant, le seuil de concentration en sels qui induirait une réduction de croissance ainsi que le degré de réduction de cette croissance varie considérablement d'une plante à l'autre (Maas, 1993).

Chez les céréales, le riz (*Oryza sativa*) est le plus sensible à la salinité et l'orge (*Hordeum vulgare*) est le plus tolérant (figure n°3). Le blé tendre (*Triticum aestivum*) est modérément tolérant et le blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) est moins tolérant que le blé tendre (Munns et Tester, 2008). L'*Agropyron elangatum* est un parent halophytique du blé et l'un des plus tolérants des espèces monocotylédones (figure 3) ; sa croissance continue même à des concentrations en sel aussi élevées que celle de l'eau de mer (Colmer *et al.*, 2005).

La variation de la tolérance à la salinité chez les dicotylédones est encore plus grande que chez les monocotylédones, quelques légumineuses sont très sensibles, voire plus sensibles que le riz et des halophytes comme l'Atriplex continuent à se développer bien à des salinités plus grandes que celle de l'eau de mer.

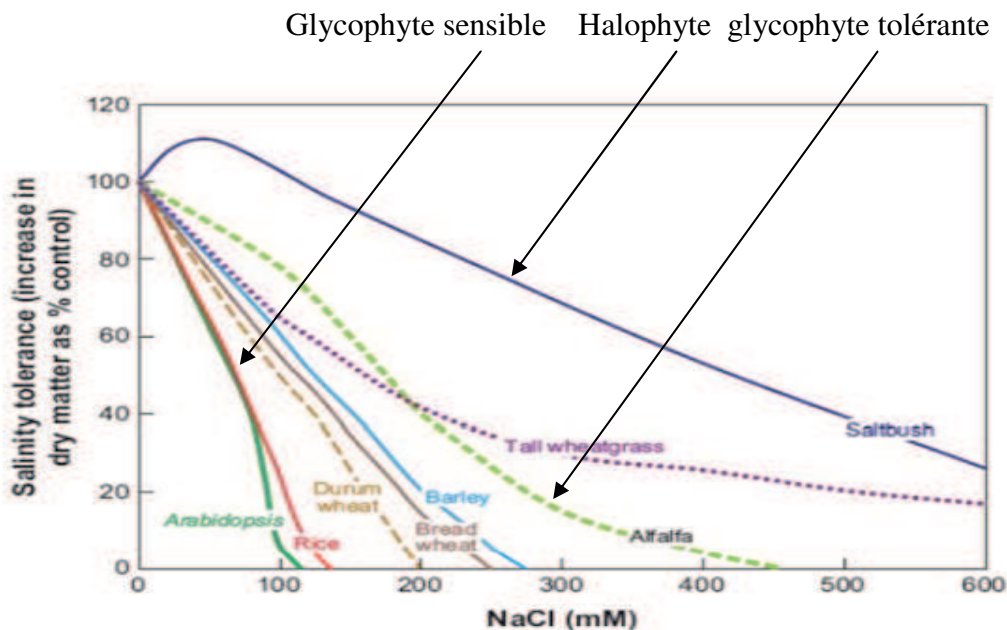


Figure 3 : Diversité de la tolérance au sel de diverses espèces (Munns et Tester, 2008).

Pour comprendre les mécanismes physiologiques responsables de la tolérance à la salinité de ces espèces, il est nécessaire de savoir si leur croissance est limitée par l'effet osmotique du sel dans le sol ou l'effet toxique du sel à l'intérieur des plantes. En effet, la salinité inhibe la croissance des plantes pour deux raisons :

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

L'effet à court terme de la salinité se produit après quelques heures ou moins d'un à deux jours du début de l'exposition à la salinité. La réponse des plantes vis-à-vis de la salinité la plus rapide et la plus aisément mesurable est la diminution de l'ouverture des stomates, donc, la cessation d'assimilation du carbone et l'arrêt de la photosynthèse. En effet, la salinité affecte immédiatement la conductance des stomates à cause des perturbations des teneurs relatives en eau ainsi que de la synthèse de l'acide abscisique (Fricke *et al.*, 2004), ainsi, une augmentation de courte durée d'ABA a été détectée dans des tissus photosynthétiques d'orge 10 minutes après l'addition de 100 mM de NaCl (Fricke *et al.*, 2006).

Sous l'effet prolongé du stress salin, les sels s'accumulent à des niveaux excessifs au niveau des feuilles, dépassant la capacité des cellules à compartimenter les ions toxiques dans les vacuoles, ce qui provoque un déséquilibre nutritionnel et inhibe l'absorption de certains éléments minéraux (notamment le K^+ et le Ca^{++}) nécessaires pour le bon fonctionnement des différentes activités physiologiques de la plante (le maintien de l'intégrité et du fonctionnement de la membrane cellulaire) (Davenport *et al.*, 1997 ; Wenxue *et al.*, 2003), ces ions toxiques s'accumulent alors rapidement dans le cytoplasme et inhibent les différentes activités enzymatiques, ils s'accumulent aussi dans les parois cellulaires et déshydratent les cellules (Flowers *et al.*, 1991), l'activité photosynthétique se trouve ainsi réduite (suite à la fermeture des stomates et à la réduction de l'approvisionnement en CO_2) (Apel et Hirt, 2004 ; Logan, 2005).

La teneur en chlorophylles et en caroténoïdes des feuilles diminuent en général et les feuilles les plus vieilles commencent à développer des chloroses et meurent (Agastian *et al.*, 2000). Ceci est appelé l'effet spécifique des sels ou l'effet de l'excès ionique de la salinité.

Si de nouvelles feuilles sont continuellement produites à un taux plus grand que celui auquel les vieilles feuilles meurent, alors il y a assez de surface photosynthétique pour que la plante produise des fleurs et des graines. Cependant, si le taux de mortalité des feuilles dépasse le taux auquel de nouvelles feuilles sont produites, la proportion des feuilles endommagées augmente. Il y a alors une course contre le temps pour former des fleurs et des graines tant qu'il y a un nombre suffisant de feuilles vertes pour fournir les photosynthétats nécessaires (Mass et al., 1989 ; Munns, 1993).

Une conséquence importante du stress sur les plantes est la production excessive des espèces réactives de l'oxygène (ERO) telles que l'anion superoxyde (O_2^-), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), le radical hydroxyle (OH^\bullet) et le monoxyde d'azote (NO). Les espèces réactives de l'oxygène peuvent causer des dommages oxydatifs importants sur la structure et le métabolisme cellulaire. Les principales cibles sont : les lipides insaturés des membranes cellulaires, les protéines et les acides nucléiques.

La peroxydation des lipides entraîne des modifications structurales au niveau des membranes et des lipoprotéines conduisant entre autres à la rupture des membranes, diminution de leur fluidité, et l'inactivation des récepteurs membranaires (Michel *et al.*, 2008).

L'attaque oxydative des acides aminés constitutifs des protéines (enzymes, transporteurs, canaux ioniques, protéines du cytosquelette, récepteurs membranaires) conduit à la modification des structures et activités fonctionnelles de ces dernières. En plus de l'oxydation de résidus sensibles des protéines, les ERO provoquent également la fragmentation des chaînes peptidiques et l'altération de la charge électrique des protéines. Les protéines modifiées deviennent généralement plus susceptibles à la protéolyse et sont donc éliminées (Favier, 2003).

Au niveau de l'ADN, le radical hydroxyle peut s'attaquer aux sucres (Favier, 2003) ou réagir avec les bases de l'ADN en s'additionnant sur les doubles liaisons (Gardès-Albert *et al.*, 2003; Møller *et al.*, 2007). Cette agression du matériel génétique se traduit par des mutations qui engendrent une transmission anormale de message génétique et une synthèse protéique perturbée (Nikkels *et al.*, 2005).

Cependant, les molécules actives d'oxygène malgré leur nature extrêmement réactive, peuvent jouer un rôle de seconds messagers et participer ainsi aux mécanismes de défense de la plante vis-à-vis du stress (Parent *et al.*, 2008).

La tolérance à une contrainte saline est un caractère complexe, elle varie selon les espèces et les variétés. Pour faire face aux différents effets de la salinité, la plante déclenche des mécanismes de tolérance qui contribuent à l'adaptation aux stress osmotique, ionique et oxydatif engendrés par la salinité. Ces mécanismes permettent la régulation du déséquilibre nutritionnel, l'élimination ou l'accumulation dans différents organes, tissus, cellules et compartiments cellulaires des sels en excès et l'ajustement de la pression osmotique interne, grâce à l'accumulation de certains solutés organiques (Levigneron *et al.*, 1995 ; Munns, 2005) ainsi que la mise en action des systèmes antioxydants.

III-1 L'ajustement osmotique

L'ajustement osmotique ou accumulation active de solutés neutres dits solutés compatibles, est un processus par lequel le potentiel hydrique d'une cellule peut être abaissé sans que le contenu en eau de la cellule diminue (Taiz et Zeiger, 2002) ; les plantes réorientent ainsi leur métabolisme carboné vers la synthèse de ces solutés ce qui permet le maintien d'une pression osmotique interne élevée suite à l'augmentation du potentiel hydrique de la solution du sol et permet d'assurer une protection des structures protéiques et membranaires.

Dans des conditions non saline, les principaux ions inorganiques qui contribuent à l'osmorégulation et à la balance des charges sont le K^+ , le NO_3^- et le Cl^- (Marshner, 1995). Sous stress salin le NO_3^- est remplacé par le Cl^- , les cations prédominants sont le K^+ et le Na^+ avec un ratio Na^+/K^+ autour de 1. En effet, plus la plante est sous stress et plus elle absorbe des quantités de sel qui se trouve au niveau de la solution du sol.

Contrairement aux ions inorganiques, qui peuvent être nocifs à des concentrations élevées, les osmolytes (composés organiques) sont considérés comme solutés compatibles, qui peuvent contribuer à la turgescence cellulaire, protéger les structures cellulaires, remplacer les ions inorganiques et atténuer la toxicité d'ions. Ce sont principalement des sucres solubles, de la proline, de la glycine bêtaïne, des polyols et des protéines (Hasegawa *et al.*, 2000 ; Munns, 2005). La proline est un des solutés les plus stables et le plus distribué chez les plantules lors d'un stress, outre son rôle osmoprotectant, elle agit comme protecteur des systèmes enzymatiques et des protéines, en stabilisant leurs structures (Vanrensburg *et al.*, 1993).

La capacité de la proline à stabiliser les structures des protéines ainsi que leur conformation indique qu'elle fonctionne comme une chaperonne qui va empêcher l'agrégation des protéines au cours de leurs repliement (Samuel *et al.*, 2000), comme une source de carbone et d'azote, permettant un recouvrement après le stress (Hare et Gress, 1997). Elle agit comme une molécule de signalisation qui peut moduler les fonctions mitochondriales (Verslus et Sharma, 2010). La proline joue un rôle de détoxification des ERO telle que les radicaux libre, les radicaux hydroxyles et l'oxygène singulet (Hong *et al.*, 2000) protégeant ainsi les structures cellulaires.

III-2 Exclusion ou inclusion des ions

Dans la plupart des sols affectés par le sel, la concentration élevée des ions, en particulier le Na^+ dans le milieu de culture des plantes, a comme conséquence la toxicité cytoplasmique. Une fois exposées à un milieu salin, La plupart des plantes accumulent le Na^+ dans leurs racines et l'excluent des parties aériennes, On les appelle " Na^+ excluders", cependant, quelques espèces accumulent efficacement des quantités élevées de Na^+ et sont connues ainsi en tant que « Na^+ includers » (accumulateurs de Na^+) (Zid et Grignon, 1992).

Dans les plantes chez lesquelles l'exclusion des sels est le mécanisme principal de la tolérance à la salinité (la plupart des plantes cultivées), le sel est maintenu loin des méristèmes, en particulier ceux des pousses, et des jeunes feuilles en croissance. Par contre, pour les plantes dans lesquelles l'inclusion des sels est le mécanisme principal, l'ajustement osmotique se produit par accumulation des ions inorganiques (en particulier le Na^+ et le Cl^-), en les stockant dans les vacuoles avant que leurs concentrations n'atteignent des concentrations toxiques dans le cytoplasme, c'est le cas généralement des plantes halophytes (Greenway et Munns, 1980 ; Ashraf, 1994 ; Tester et Davenport, 2003).

Pour les plantes cultivées, la tolérance à la salinité semble dépendre conjointement de la capacité de restriction de l'entrée des ions sodium à l'intérieur de la plante (Munns 2002) et du maintien d'une faible concentration en éléments toxiques dans le cytoplasme (Amtmann et Sanders, 1999 ; Ashraf, 2002).

Chez les céréales, l'exclusion du sodium des feuilles peut être considérée comme un mécanisme de tolérance. En effet, le degré de tolérance à la salinité de bon nombre d'espèces céréalières est inversement corrélé à la concentration des ions Na^+ dans les feuilles, c'est le cas par exemple de l'orge et du blé (Gorham, 1993). Toutefois, pour certains génotypes sensibles, la tolérance à la salinité n'est pas toujours associée à l'exclusion du sodium, par exemple, lorsque l'exclusion du sodium était une caractéristique générale de certains génotypes de blé tolérants à la salinité, un génotype sensible avait moins de sodium dans les feuilles que le plus tolérant des génotypes (Schachtman *et al.*, 1989). Des observations similaires ont été aussi notées chez le maïs, où un génotype tolérant a transporté deux fois plus de sodium aux feuilles qu'un génotype sensible (Cramer *et al.*, 1994).

C'est pourquoi la tolérance à la salinité n'est pas nécessairement associée à la capacité d'exclure des ions toxiques mais elle est associée à la capacité de maintenir une homéostasie ionique au niveau du cytoplasme (Ungar, 1991).

III-3 Sélectivité ionique (K^+/Na^+ $\text{Ca}^{++}/\text{Na}^+$)

Dans des conditions salines, dues aux quantités excessives de Na^+ échangeable, des ratios élevés de Na^+/K^+ et $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ se produisent dans le sol, ce qui induit un déséquilibre nutritionnel dans la plante (Marschner, 1995 ; Davenport *et al.*, 1997 ; Wenxue *et al.*, 2003). Les plantes soumises à de tels environnements, absorbent des quantités élevées de Na^+ tandis que l'absorption du K^+ et du Ca^{++} se trouvent considérablement réduits.

Le Ca^{++} est nécessaire pour maintenir l'intégrité et le fonctionnement des membranes cellulaires, une carence en Ca^{++} endommage la sélectivité et l'intégrité des membranes ce qui accélère l'accumulation passive du Na^+ au niveau des tissus. Cependant, l'ajout du Ca^{++} à un milieu salin stimule la croissance des plantes et l'accumulation des éléments nutritifs (Lazof et Bernstein, 1999 ; Cramer, 2002). Le K^+ est aussi un macronutriment indispensable pour le fonctionnement des enzymes et il est également un osmoticum majeur (Marschner, 1995; Davenport *et al.*, 1997).

Le maintien de l'absorption du K^+ et du Ca^{++} en présence d'une concentration externe élevée de Na^+ a été suggéré comme un critère important pour la tolérance à la salinité chez l'orge et le blé, (Greenway et Munns, 1980 ; Gorham, 1993 ; Lazof et Bernstein, 1999 ; Colmer *et al.*, 2005 ; Munns *et al.*, 2006).

Le mécanisme fondamental pour le maintien de proportion adéquate de K^+ et de Ca^{++} dans les tissus végétaux sous stress salin semble dépendre de la sélectivité d'absorption de ces éléments, ainsi que de la sélectivité cellulaire de compartimentation et de distribution du K^+ et du Na^+ au niveau des jeunes feuilles (Munns *et al.*, 2000 ; Carden *et al.*, 2003).

III-4 Mécanismes de défense contre le stress oxydatif

La présence de ROS dans la plante déclenche les voies de signalisation influençant l'expression des gènes de résistance envers le stress oxydatif (Bechtold *et al.*, 2008).

Le rôle des antioxydants est de prévenir et/ou de détruire les ROS afin de préserver l'intégrité de la cellule. La durée de vie des ROS va dépendre du système antioxydant mis en place. Ce système fait intervenir un ensemble de molécules enzymatiques ou non enzymatiques qui ne sont pas réparties uniformément dans la cellule (Bray *et al.*, 2000). Parmi les systèmes enzymatiques on retrouve la catalase, la peroxydase, la glutathion réductase, la superoxyde dismutase (SOD), l'ascorbate peroxydase (APX) et la glutathion reductase, mais aussi des molécules non enzymatiques comme les caroténoïdes (qui éliminent l'excès d'énergie) le glutathion (impliqué dans l'état rédox de la cellule), les tocophérols (vitamine E qui empêche la peroxydation des lipides), l'ascorbate (impliquée dans la régénération de la Vit E) et les polyphénols (Noctor et Foyer, 1998). La capacité antioxydante dépend fortement de la sévérité du stress, de l'espèce et du stade de développement (Ramel, 2009).

III-5 Mécanismes moléculaires

Les événements précoces de l'adaptation des plantes au stress commencent par les mécanismes de perception puis de signalisation via une transduction de signaux et de messagers afin d'activer les diverses réponses physiologiques et métaboliques, y compris l'expression de gènes de réponse au stress (Hanana *et al.*, 2011) . Les principales voies empruntées lors de la signalisation du stress salin sont celles du calcium, de l'acide abscissique (ABA), des « mitogen activated protein kinases » (MAPKinases), des protéines « salt overly sensitive » (SOS) et de l'éthylène (Chinnusamy et Zhu 2003; Chinnusamy *et al.*, 2005; Mahajan *et al.*, 2008).

IV Critères de sélection pour la tolérance à la salinité

La résistance au sel apparaît comme un caractère polygénique contrôlé à différents niveaux d'organisation, de la cellule à la plante entière. La grande variabilité manifestée par les espèces et les variétés pour ce caractère permet d'envisager la sélection de génotypes particulièrement bien adaptés au stress salin. Par ailleurs, la diversité des effets du sel offre une gamme étendue de critères physiologiques et biochimiques qui peuvent être à la base de tests rapides, utilisables pour un tri à grande échelle.

Les caractères agronomiques comme la survie, la production en biomasse et le rendement en grains ont été souvent les plus utilisés pour identifier des génotypes tolérant à la salinité, à cause de la simplicité de leurs mesures et du fait que vers la fin, le rendement est l'objectif final des améliorateurs. Cependant, beaucoup de problèmes associés à l'utilisation de ces caractères comme critères de sélection existent, comme l'effet des facteurs environnementaux sur l'expression de ces caractères et les différences de modèles de croissance et de développement entre les différents génotypes (Noble et Rogers, 1992).

Avec le coût et le temps pour des comparaisons de croissance de longue durée, l'utilisation des approches de sélection et d'amélioration basées sur des caractères physiologiques paraît plus rapide et plus sûre (Noble et Rogers, 1992 ; Munns et James, 2003). Toutefois, une approche fonctionnelle basée sur l'utilisation à la fois de paramètres physiologiques et agronomiques nous permet de faire la relation entre le développement végétatif et les paramètres physiologiques de tolérance durant le cycle de croissance de la plante (Munns, 2002 ; Katerji *et al.*, 2006).

Ainsi, différents critères de sélection pour la tolérance au sel des cultures céréalières ont été étudiés par plusieurs chercheurs, les plus étudiés selon Colmer *et al.*, (2005) sont les suivants :

1. "L'ajustement osmotique" : qui est atteint par une compartimentation des ions dans les vacuoles, et la synthèse des solutés organiques compatibles avec le fonctionnement des enzymes, pour prévenir la déshydratation du cytosol et des organites quand de fortes concentrations d'ions se produisent dans les vacuoles.

2. Une capacité à limiter l'entrée du Na^+ (et le Cl^-), appelés souvent "caractère d'exclusions des ions toxiques" (Munns et James 2003; Tester et Davenport, 2003).

3. le maintien de l'absorption du K^+ et du Ca^{++} face à un rapport élevé de Na^+/K^+ et Ca^{++}/Na^+ dans la solution du sol; le maintien de l'absorption du K^+ en présence d'une haute concentration externe de Na^+ chez les Triticeae a été appelé "Caractère de discrimination renforcée du K^+/Na^+ " (Gorham, 1990 ; Gorham *et al.*, 1991 ; Gorham, 1993).

4. Une capacité à accumuler le Na^+ (et le Cl^-) dans les vieilles plutôt que les jeunes feuilles (Greenway, 1962 ; Yeo *et al.*, 1985 ; Wolf *et al.*, 1991). Cela réduit par la suite le taux d'ions qui s'accumulent dans les tissus photosynthétiques jeunes.

5. conservation du Na^+ et du Cl^- au niveau des gaines foliaires. Un caractère bien documenté pour le Cl^- dans certaines graminées comme le sorgho (Boursier *et al.*, 1987 ; Boursier et Läubli, 1989), un large screening de ce caractère pourrait s'avérer très utile.

6. Amélioration de la vigueur. Cela garantit une croissance rapide lorsque les conditions hydriques sont favorables et l'eau du sol est généralement plus disponible. L'amélioration de la vigueur est particulièrement importante en combinaison avec des caractères comme la précocité de la floraison ou l'efficacité de la transpiration (Colmer *et al.*, 2005).

7. Efficacité de la transpiration. Une faible conductance stomatique augmente le rapport de la photosynthèse à la transpiration, et réduit le taux d'épuisement de l'eau du sol par unité de production de matière sèche. Cela permettra de réduire le taux de concentration des ions dans la solution du sol (Munns, 2005) et le mouvement de sels dans la zone racinaire par remontée capillaire (Rengasamy, 2002). Cela pourrait être utile dans les sols à salinité transitoire, lorsque la concentration de sels dans la zone racinaire est faible durant la phase végétative.

En revanche, le caractère de l'efficacité de la transpiration ne serait pas utile dans les zones arides où les fortes concentrations en sels dans la zone racinaire limitent déjà la conductance stomatique. Cependant, la faible conductance stomatique signifie que la plante n'a pas le pouvoir d'utiliser toute l'eau disponible, et de ce fait le potentiel du rendement ne peut pas être atteint (Colmer *et al.*, 2005).

8. la précocité de la floraison et le remplissage rapide des grains. Cela évite les fortes salinités et la sécheresse vers la fin du cycle de culture, (Hollington *et al.*, 2002; Mahar *et al.*, 2003). Toutefois, comme ci-dessus, les plantes ne peuvent pas utiliser toute l'eau disponible et le potentiel du rendement ne sera pas atteint.

Matériels et Méthodes

I- Site expérimental

Notre essai a été réalisé au niveau de la station expérimentale de l'école nationale supérieure agronomique d'El Harrach dans une serre en verre (conditions semi contrôlées) orientée dans le sens nord-sud.

II- Matériel végétal

L'étude a porté sur deux variétés d'orge (*Hordeum vulgare*), Saida (originaire de l'ouest du pays) et Tichedrett, originaire de l'est. Les caractéristiques des deux variétés sont présentées dans le tableau n° 6.

Tableau N°6 : Caractéristique des variétés étudiées (ITGC, 2001).

cultivars	Origine	Caractéristiques Morphologiques	Caractéristiques culturales	Productivité
Saida	Algérie (Ouest)	Epi : 6 rangs, lâche à barbes non pigmentées et longues. Paille : moyenne, creuse. Grain : blanc, long, étroit et peu ridé.	Cycle végétatif : semi-précoce. tallage : moyen.	Bonne
Tichedrett	Algérie (Est)	Epi : 6rangs, compact à barbes très longues. Paille : moyenne. Grain : long et peu ridé.	Cycle végétatif : précoce. tallage : moyen.	Bonne

III- Conduite de l'essai

Des caryopses d'orge sélectionnés préalablement, dépourvus de toute anomalie morphologique apparente ont été placés dans des boites de Pétri tapissées d'une double couche de papier absorbant pour une période de germination de 5 jours, l'arrosage a été appliqué quotidiennement en utilisant de l'eau courante du robinet. Les plantules d'orge ont été repiquées manuellement et placées à raison de 6 plants par pot rempli de 12kg de sol prélevé sur une couche de 20 cm de profondeur des parcelles de la station expérimentale de l'ENSA. L'effectif a été ramené ensuite à 4 plants par pots afin de ne laisser que les plants homogènes et d'éliminer les plants qui ont mal repris après le transfert.

Pour assurer une bonne levée après repiquage des graines germées, l'irrigation par les solutions salines n'est appliquée qu'après le développement de la première feuille ; le traitement est poursuivi jusqu'à la récolte.

IV- Application du stress et choix des doses de salinité

L'application du stress salin a été effectuée par apport d'une solution saline (rajout du NaCl à l'eau d'irrigation) durant toute l'expérimentation de l'apparition de la première feuille jusqu'au stade maturité des graines.

Les doses de sel ont été choisies selon les tableaux de tolérance des cultures à la salinité établies par Maas et Hoffman (1977). La base de données comporte la classification de 127 cultures pour leur tolérance à la salinité parmi lesquelles se trouve l'orge.

Selon Ayers et Westcot (1985), cette base de données sert de guide pour la tolérance relative entre les espèces. La tolérance absolue varie avec le climat, les conditions climatiques et les pratiques culturales.

Pour l'orge les concentrations en sel choisies qui induisent des réductions de rendement de 0, 10, 50 et 100% sont présentées dans le tableau n°7. Pour le témoin, nous avons utilisé l'eau d'irrigation de l'INA dont la conductivité électrique est de 1,1 dS/m (Eau non salée).

Tableau n°7 : Tolérance de l'orge à la salinité (Maas et Hoffman 1977).

Dose de sel	CE de l'eau d'irrigation (dS/m)	Perte de rendement
T0 (Témoin)	1,1	Sans perte
T1	6,7 (4,2 g/l)	10 %
T2	12 (7,2 g/l)	50 %
T3	19 (12 g/l)	100 %

V- Détermination des besoins en eau

La capacité de rétention en eau du sol ou capacité au champ correspond à la différence de poids entre un échantillon de sol saturé et le même échantillon pesé à sec.

Pour permettre le lessivage des sels apportés afin d'éviter une accumulation excessive et une augmentation croissante de la salinité au niveau racinaire, une fraction de lessivage a été calculée en majorant la teneur en eau à la capacité au champ de 30% sachant que, la salinité du sol doit nécessairement être proche de celle de la solution d'arrosage.

Un système de récupération de l'eau drainée a été mis en place pour contrôler périodiquement les quantités d'eau lessivée afin de réguler les quantités d'eau apportées à chaque stade de développement et mesurer sa conductivité électrique (voir figure n°4).

VI- Dispositif expérimental adopté

Les pots ont été placés selon un dispositif en randomisation totale, avec : 3 traitements salins et un témoin non salé, 2 variétés et 3 répétitions. Soit, un total de 24 pots (figure 4).

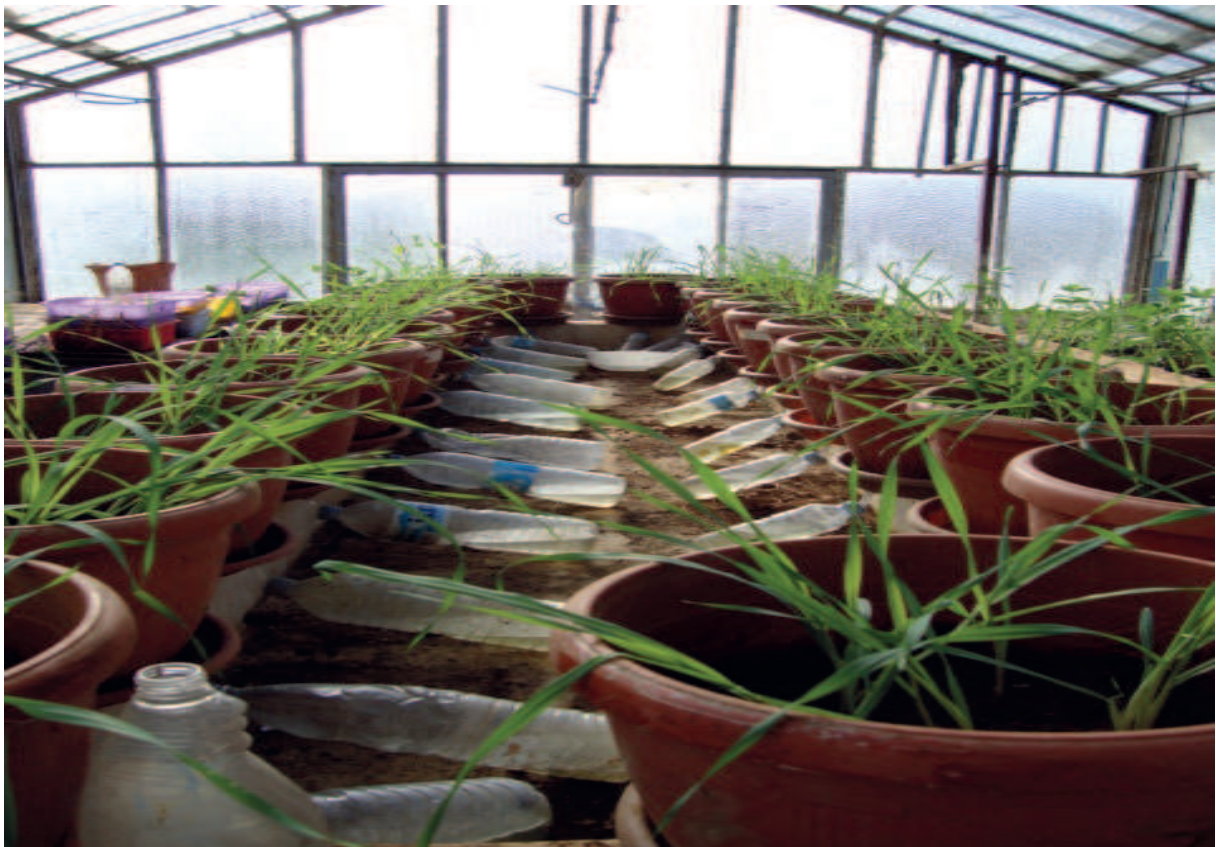


Figure n°4 – Système de drainage et vue générale du dispositif expérimental.

VII- Les caractères étudiés

A. Les caractères agronomiques

1. Le rendement en grain

Le maître brin d'un plant par pot est récolté lorsque le stade maturité des graines est atteint, le rendement est exprimé en gramme par pot.

2. Mesure de la matière sèche aérienne et racinaire

Le poids de matière sèche des parties aériennes et racinaires est évalué au stade tallage, le matériel végétal frais est pesé puis placé à l'étuve à une température de 72°C pendant 48h.

3. Le nombre des talles par plant et par pot

Le développement végétatif de l'orge est caractérisé par l'apparition et le développement des feuilles et des talles. Ainsi, le nombre total des talles a été noté au stade épiaison.

4. Mesure de la surface foliaire totale

L'ensemble des feuilles prises au stade tallage sont tout d'abord photographiées à l'aide d'un scanner ou un appareil photo numérique puis traités par le logiciel mesurim qui permet de transformer les images en surface exprimée en cm². Une moyenne de trois mesures est établie pour chaque traitement.

B. Les caractères physiologiques

1. Dosage de la proline

La technique utilisée pour le dosage de la proline est celle de Troll et Lindsay (1955) modifiée par Magne et Larher (1992). Cette technique est basée sur la capacité de la proline à réagir en milieu acide et à chaud avec la ninhydrine pour donner un composé de couleur rose à rouge, soluble dans les solvants organiques tel que le toluène.

50 mg de matière végétale foliaire sèche (Prélevée au stade épiaison) sont broyés dans 500 µl d'eau distillée. L'ensemble est porté à ébullition pendant 30 mn. Après refroidissement, le broyat est récupéré dans des tubes eppendorf puis centrifugé pendant 10 minutes à 13000trs/mn. Après avoir récupéré le surnageant, une deuxième extraction est réalisée à partir du culot auquel sont ajoutés 500 µl d'eau distillée.

L'ensemble est centrifugé pendant 10 mn à 13000 trs/mn, le surnageant ainsi récupéré est rajouté au premier.

A 500 µl de surnageant est ajouté 1 ml de réactif à la ninhydrine (colorant spécifique des acides aminés). L'ensemble est homogénéisé puis placé au bain-marie à 90° C pendant 20 mn. Après refroidissement, 3 ml de toluène sont rajoutés. Une centrifugation (à 3000 tr/mn pendant 5 mn) fait apparaître deux phases :

- La phase supérieure organique contenant la proline.
- La phase inférieure aqueuse qui sera éliminée.

La phase supérieure est prélevée et sa densité optique est mesurée au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 520 nm.

Pour connaître la correspondance entre les densités optiques et les concentrations en proline, une courbe étalon (Figure n°5) est réalisée à partir d'une solution mère de proline à 10 mM, une gamme de concentrations croissantes est établie. Les teneurs en prolines son exprimées en mg/g de matériel végétal sec (MVS).

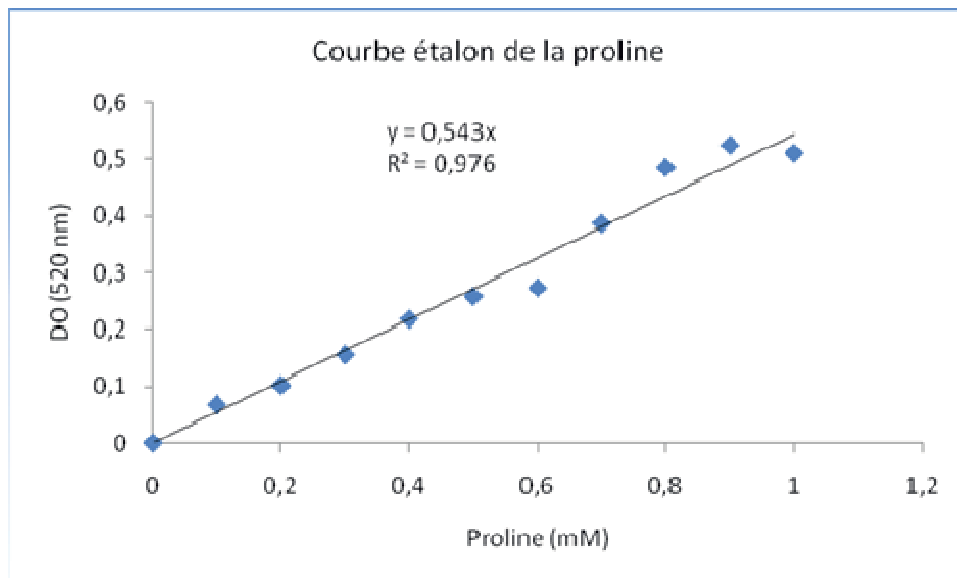


Figure n°5 : courbe étalon de la proline

2. Extraction et dosage des sucres solubles

Les sucres sont dosés selon la méthode de Mc Cready et *al.*, (1950). C'est une méthode colorimétrique basée sur la déshydratation des oses en milieu acide (H_2SO_4 concentré) à chaud. Les dérivés furfuraliques obtenus (5-hydroxyméthyl-furfural pour les hexoses) se condensent avec l'anthrone pour donner des produits colorés. Les différences de couleur obtenues (bleu-vert avec les hexoses, rouge avec les pentoses) donnent une certaine spécificité à la technique. 0.5 g de la matière végétale fraîche (Prélevée au stade épiaison) sont broyés dans 10 ml d'éthanol bouillant à 80 %. Après agitation au vortex, le broyat est centrifugé pendant 20 min à 5000 tr/min. L'extraction est réalisée deux fois. À chaque extraction le surnageant est prélevé et rajouté au précédant dans un tube et le tout est ajusté à 50 ml par de l'eau distillée.

Dosage :

Le dosage est réalisé sur 0,5 ml d'extrait glucidique auquel sont ajoutés 0,5 ml d'eau distillée et 2ml de réactif à l'anthrone. Après agitation au vortex et passage au bain-marie à 100° C pendant 7 min, une coloration vert-bleu est observée. Après refroidissement, les densités optiques sont lues au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 630 nm. Le spectrophotomètre est préalablement étalonné avec un blanc préparé à partir de 1ml d'éthanol et de 2ml de réactif.

La courbe étalon (Figure n°6) est réalisée à l'aide de concentrations croissantes en glucose obtenues à partir d'une solution mère à 100 $\mu\text{g/ml}$. Celle-ci sert à la détermination de la quantité des sucres solubles présents dans les extraits glucidiques. Les teneurs sont ramenées au mg/g de MVS.

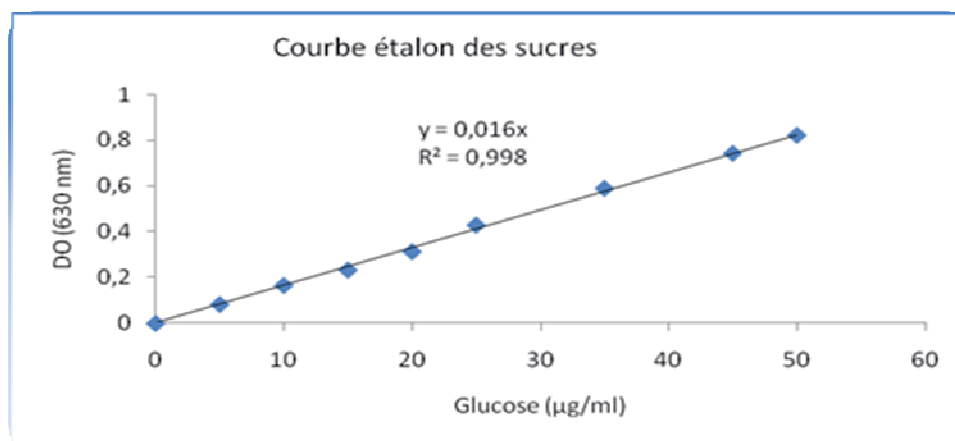


Figure n°6 : courbe étalon de glucose.

3. Dosage des pigments photosynthétiques

Le dosage des chlorophylles est basé sur la méthode d'Arnon (1949).

0,1 g de matière végétale fraîche prélevée au stade épiaison a été broyé à sec puis dans 10 ml d'acétone à 80 %. Le broyat est centrifugé à 3000 tr/mn pendant 15 mn. Le surnageant qui contient les pigments est récupéré. Les densités optiques sont lues aux longueurs d'ondes 663, 647 nm pour les chlorophylles a et b et 470 nm pour les caroténoïdes. La teneur en chlorophylles et en caroténoïdes est déterminée selon les équations de **Lichtenthaler(1987)** :

- Chl a = 12, 25 DO (663) – 2, 7 DO (647) (µg/ml).
- Chl b = 21, 5 DO (647) – 4, 7 DO (663) (µg/ml).
- Chl (a+b) = 7.15 DO (663) + 18.71 DO (647) (µg/ml).
- Caroténoïdes = $\frac{1000.470 - 1.82.(Chla) - 85.02.(Chlb)}{198}$ (µg/ml).

4. Détermination du statut de l'eau au stade épiaison

Le statut de l'eau des plantes a été évalué en mesurant leurs teneurs relatives en eau (TRE, %).

Il est calculé selon l'équation suivante (Smart et Bingham, 1974) :

$$\text{T.R.E. (\%)} = \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PT} - \text{PS}} \times 100$$

PF : poids de matière fraîche de la feuille (mg).

PS : poids de matière sèche de la feuille (mg).

PT : poids à la turgescence de la feuille (mg).

Le poids de matière fraîche est déterminé par pesée de la feuille immédiatement après son prélèvement au stade épiaison. Le poids à la turgescence est obtenu en plaçant la feuille dans l'eau distillée pendant 24h à 4°C dans l'obscurité. Le poids de matière sèche est obtenu en plaçant la feuille à l'étuve à 80°C pendant 24 h.

5. Estimation de l'intégrité membranaire (mesure de la fuite relative des électrolytes)

Des segments foliaires (prise au stade épiaison) de 2 cm² sont mis à flotter dans des tubes contenant 20 ml d'eau distillée. La première conductivité (E) est lue après 60 minutes. Le mélange eau et tissus foliaires est ensuite placé pendant 1 heure à 95°C pour obtenir une destruction totale de la matière végétale, après refroidissement, une deuxième mesure de la conductivité est effectuée (ET).

L'intégrité membranaire est déterminée par le rapport entre la conductivité des segments foliaires mis dans l'eau non bouillie (E) à celle des segments mis à bouillir (ET). Une moyenne de 3 mesures est établie pour chaque traitement.

Les résultats sont exprimés en pourcentage (%), selon la formule ci-dessous :

$$\text{Fuite relative d'ions (\%)} = \frac{E}{ET} \times 100$$

E : conductivité des segments foliaires dans l'eau non bouillie (dS/m).

ET : conductivité des segments foliaires après ébullition(dS/m).

6. Dosage des éléments minéraux (Na⁺, K⁺ et Ca⁺⁺)

L'analyse minérale des tissus végétaux constitue un moyen pour évaluer l'état nutritionnel des plantes, il a porté sur le dosage du sodium, potassium et calcium, des feuilles de la partie aérienne prise au stade épiaison. L'analyse a été effectuée selon la méthode dite «Dry Ashing» décrite par Chapman et Pratt (1961).

L'échantillon à analyser est séché dans l'étuve à 70°C pendant 48h puis broyé. Après refroidissement, 1 g de matière sèche est placé dans une capsule en porcelaine. La capsule est mise dans un four à moufle dont la température est augmentée progressivement pour atteindre 550 °C. L'opération dure environ 5 heures et le compte débute lorsque le four atteint 550°C. Après refroidissement, les cendres récupérées sont soumises à une attaque acide en présence de 5ml d'acide chlorhydrique 2N. Au bout de 30 minutes, le contenu des capsules est ajusté à 50ml avec du HCl 0.1N. Les solutions obtenues sont filtrées pour éliminer les déchets des cendres qui se trouvent encore dans les solutions à analyser. Les résultats sont obtenus après analyse par photométrie à flamme.

VIII-Traitement des données

Les données recueillies pour l'ensemble des caractères étudiés ont été soumises à une analyse de la variance avec le logiciel **XLSTAT**. L'analyse de la variance effectuée est à deux critères de classification (facteur traitement salin et facteur variétés). Les moyennes sont comparées à l'aide du test de Newman-Keuls, lorsque cela est nécessaire (différences au moins significatives). Des matrices de corrélations entre les différents caractères ont été aussi élaborées.

Résultats

I. Résultats

1. Les caractéristiques physico-chimiques du sol utilisé

Les résultats obtenus sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol (Tableau 8) indiquent qu'il s'agit d'un sol argilo-limoneux non calcaire avec une salinité faible. Ce sol présente une teneur forte en potassium, faible en phosphore et moyennement faible en azote ce qui a nécessité un apport d'engrais (granulé) phosphatés et azotés.

Tableau 8 : Résultats et interprétation des analyses physiques et chimiques du sol.

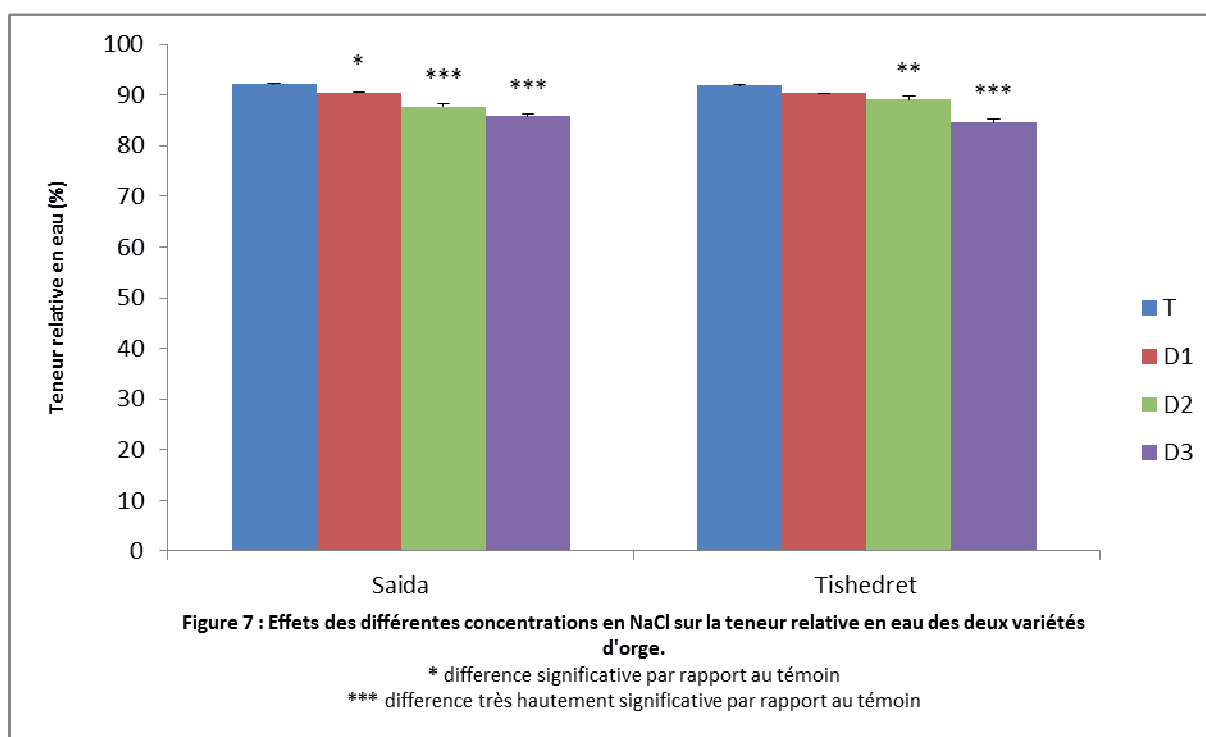
Paramètres d'analyses		Teneur	Méthodes d'analyse	Normes	Interprétation
	Argiles (A)	24,36 %	Méthode internationale par la pipette de ROBINSON	Triangle des textures	Sol argilo-limoneux
	Limons fins(LF)	20,3 %			
	Limons grossiers (LG)	14,44 %			
	Sables fins(SF)	40,9 %			
	Sables grossiers(SG)	0 %			
Calcaire total (CaCO ₃)		3 %	Méthode volumétrique par le calcimètre de BERNARD	2 à 10	Faiblement calcaire
pH	pH-eau	7,9	Méthode électrométrique par pH-mètre	7,9-6,4=1,5	Sol desaturé
	pH-KCL	6,4			
Azote total (N)		0,12 %	Méthode KJELDAHL	1 à 1,5 %O	Sol moyennement pauvre en azote
Phosphore assimilable (P ₂ O ₅)		77,6 ppm	Méthode JORET-HEBERT	% A. 10 = 243,6 Ppm	Sol pauvre en phosphore assimilable
Potassium échangeable (K ₂ O)		234 ppm	Extraction par l'acétate d'ammonium	% A .8 = 194,88 Ppm	Sol riche en potassium échangeable
Salinité(CE)		0,22 mmoh/cm		0,2 à 0,75 mmoh/cm	Salinité faible

2. Effet de la salinité sur la teneur relative en eau

La teneur relative en eau des feuilles des plantes témoin de la variété Saida (Figure 7) est de 92,2%, cette teneur s'abaisse progressivement pour atteindre 90,45%, 87,66% et 85,79% respectivement pour les concentrations 4,2 ; 7,2 et 12g/l, soient des taux de réduction de 1,89%, 4,92% et 6,95%.

L'analyse statistique montre que la différence de la teneur relative en eau des feuilles est significative en présence de 4,2g/l de NaCl, et très hautement significative pour 7,2g/l et 12 g/l comparativement au témoin.

Pour la variété Tichedrett, l'effet du sel sur la teneur relative en eau des feuilles ne se remarque qu'à partir des concentrations supérieures à 4,2g/l. En effet, la teneur relative en eau des feuilles passent de 91,83% chez les plantes témoin à 90,37% (différence non significative), 89,08% et 84,62% (différences hautement significatives) respectivement chez les plantes stressées avec les concentrations 4,2 ; 7,2 et 12g/l, ce qui correspond aux pourcentages de réduction respectifs de 1,58%, 3% et 7,85%.



L'analyse de la variance n'a pas révélé de différence significative entre les deux variétés pour l'effet du sel sur la teneur relative en eau des feuilles. (Les deux variétés se comportent de la même façon).

3. Effet de la salinité sur la surface foliaire

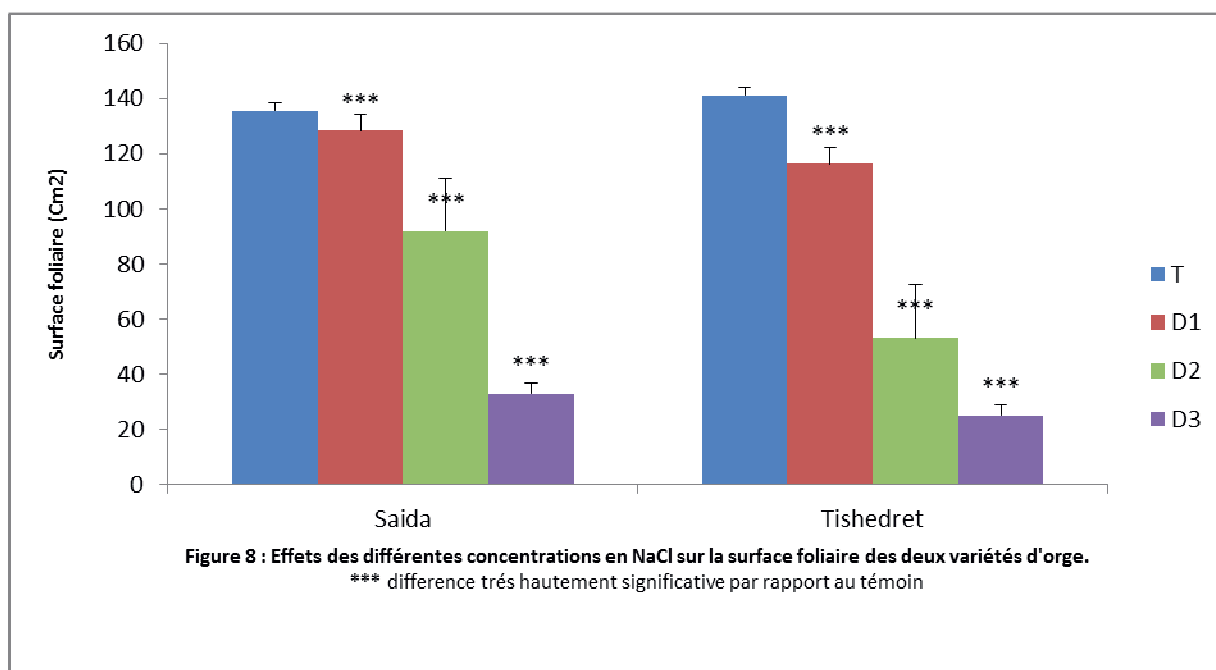
Une des premières réactions des plantes au stress est généralement de réduire leur surface foliaire.

La surface foliaire des plantes témoin de la variété Saida est de $135,55 \text{ cm}^2$. En présence de $4,2 \text{ g/l}$ de NaCl, cette surface diminue légèrement atteignant $128,31 \text{ cm}^2$ soit $5,16\%$ de réduction. La différence notée est très hautement significative au risque 5% .

Avec des concentrations plus élevées, la surface foliaire s'abaisse davantage surtout à 12 g/l atteignant $91,87 \text{ cm}^2$ et $32,95 \text{ cm}^2$ chez les plantes traitées respectivement par les concentrations $7,2$ et 12 g/l soient des diminutions de $32,22\%$ et $75,69\%$ (Figure 8).

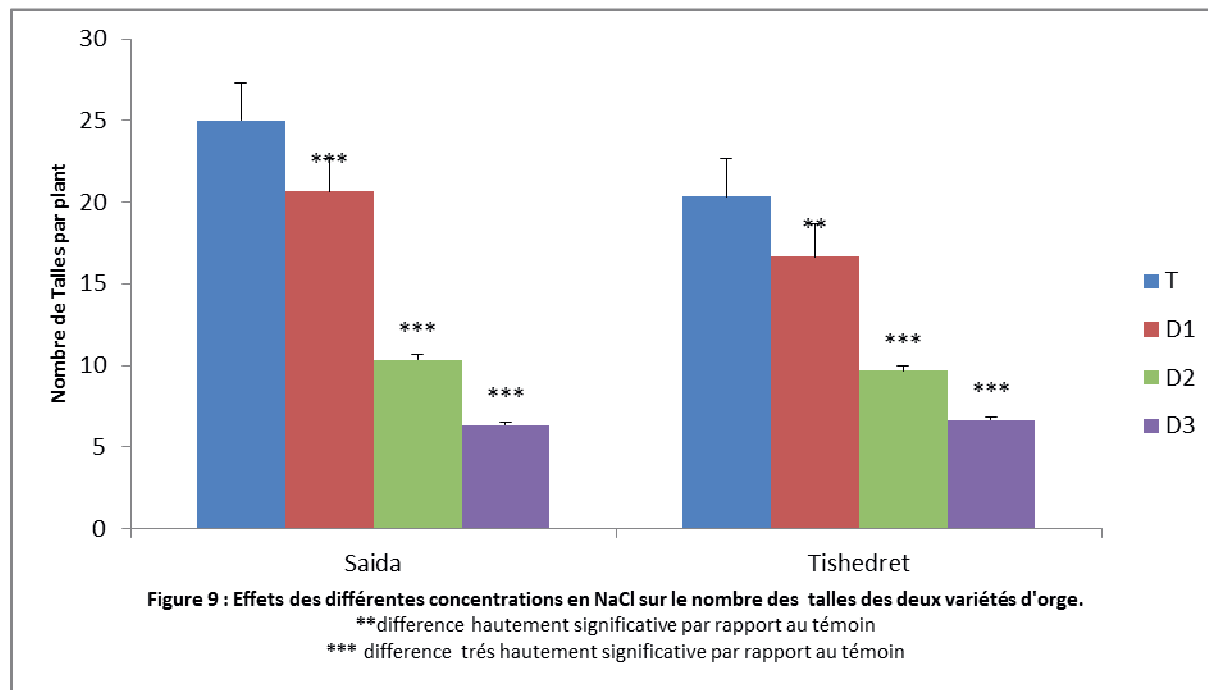
Les plantes témoins de la variété Tishedret présentent une surface foliaire de $141,09 \text{ cm}^2$, cette surface diminue progressivement pour atteindre $25,16 \text{ cm}^2$ chez les plantes stressées avec la plus forte concentration (12 g/l). Les pourcentages de réduction correspondant aux concentrations ($4,2$; $7,2$ et 12 g/l) sont respectivement $17,49\%$, $62,27\%$ et $82,16\%$. Cette baisse est très hautement significative au risque 5% (Figure 8).

L'analyse de la variance n'a pas révélé de différence significative entre les deux variétés pour le paramètre effet de la salinité sur la surface foliaire.



4. Effet de la salinité sur le nombre de talles par plant

Les résultats présentés dans la figure 9 montrent que le nombre de talles diminue remarquablement sous l'effet des différents traitements salins appliqués avec une réduction nettement importante aux concentrations 7,2 et 12 g/l de NaCl.



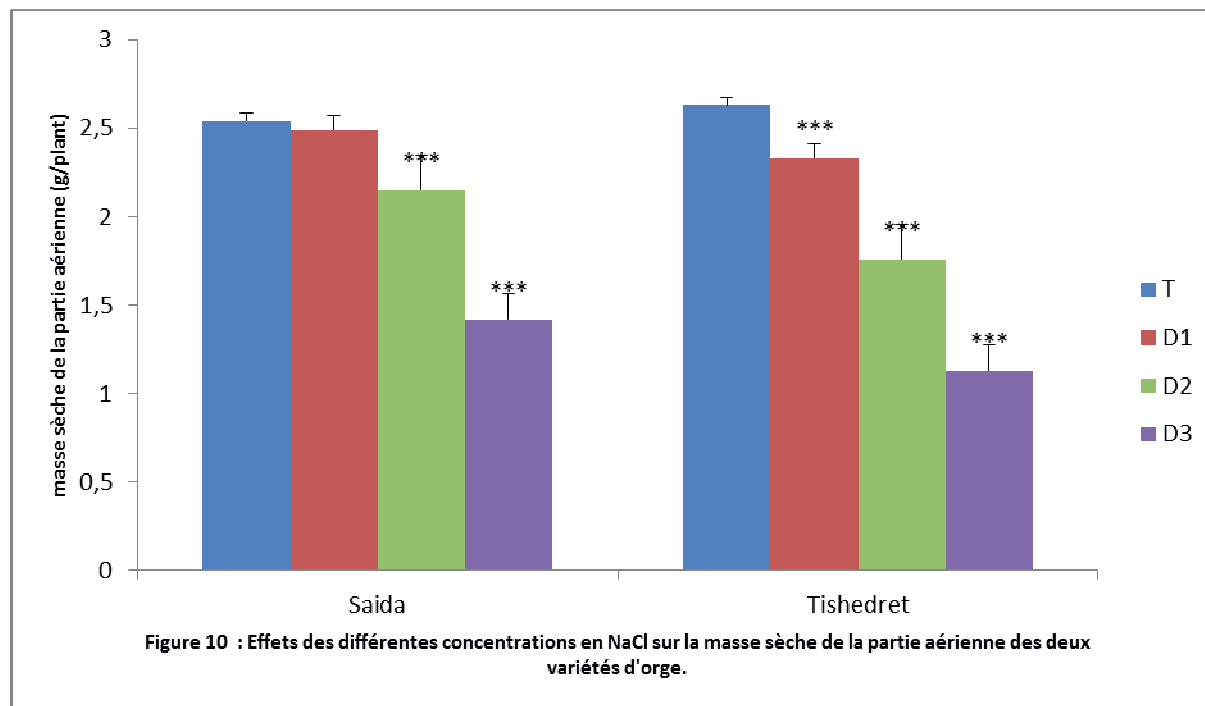
Pour la variété Saïda le nombre de talles passe de 25 talles chez les plantes témoins à 20,66 ; 10,33 et 6,33 talles pour les concentrations 4,2 ; 7,2 et 12g/l, soient des pourcentages de réduction de 17,36%, 58,66% et 74,68% respectivement. L'analyse statistique a révélé une différence très hautement significative entre les plantes témoins et celles soumises à 4,2 ; 7,2 et 12 g/l de NaCl.

Pour la variété Tishedret le nombre de talles passe de 20,33 talles chez les plantes témoins à 16,66 talles chez les plantes traitées avec 4,2 g/l de NaCl soit une diminution de 18,05% (différence hautement significative). Avec des concentrations plus élevées, le nombre de talles s'abaisse d'avantage (différence très hautement significative) atteignant 9,66 et 6,66 talles chez les plantes traitées respectivement par les concentrations 7,2 et 12 g/l, soit une diminution de 52,48% et 67,24%.

L'analyse de la variance n'a pas révélé de différence significative entre les deux variétés pour le caractère nombre de talles par plante.

5. Effet de la salinité sur la matière sèche de la partie aérienne par plant

L'effet de la salinité sur la croissance des plantes peut être évalué par l'évolution de la masse de la matière sèche des organes. Cet effet varie en fonction, de l'intensité du stress salin, de la durée du stress salin et de l'organe considéré.



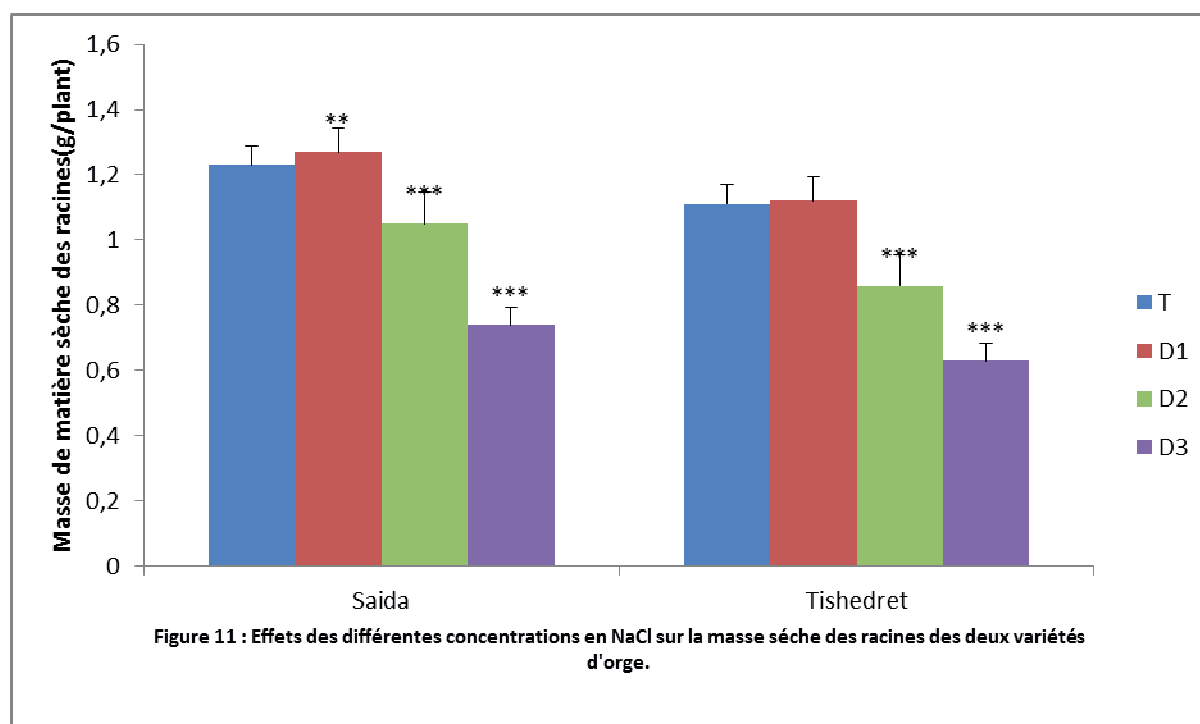
Les résultats illustrés par la figure 10 montrent que chez Saida, la faible concentration de NaCl entraîne une réduction non significative de la biomasse sèche de la partie aérienne. En effet, celle-ci passe de 2,54 g chez les plantes témoin à 2,49 g chez les plantes soumises à 4,2 g/l soit 1,96% de réduction. Aux concentrations plus élevées (7,2g/l et 12g/l), l'effet du sel se traduit par une baisse très hautement significative de la masse de matière sèche comparativement au témoin. Nous notons des valeurs respectives de 2,15g et 1,42 g correspondant à 18,13% et 44,09% de réduction.

Chez les plantes témoins de la variété Tishedrett, la masse de matière sèche de la partie aérienne est de 2,63g, cette biomasse s'abaisse graduellement pour atteindre 2,33g, 1,76 g et 1,13g pour les concentrations respectives (4,2 ; 7,2 et 12) g/l ; les pourcentages de réduction correspondant sont respectivement 11,4%, 33,07% et 57,03%.

L'analyse de ces résultats révèle que la masse de matière sèche de la partie aérienne des plantes traitées par des concentrations 4,2 g/l, 7,2g/l et 12 g/l diffère de façon significative de celle enregistrée chez les plantes témoins.

Entre les deux variétés étudiées, l'analyse de la variance n'a pas révélé de différence significative pour le caractère masse sèche de la partie aérienne.

6. Effet de la salinité sur la matière sèche des racines par plant



Chez les plantes témoins de la variété Saïda, la masse de matière sèche des racines est de 1,23g, celle-ci augmente de manière significative sous l'effet de 4,2 g/l pour atteindre 1,27g soit 3,14% d'augmentation. Aux fortes concentrations, le sel provoque une baisse très hautement significative de la masse de matière sèche, elle atteint les valeurs respectives de 1,05g et 0,74g correspondant aux taux de réductions de 14,63% et 39,83%.

Pour la variété Tishedrett, les plantes soumises à la faible concentration saline (4,2g/l) ne présentent pas de variation de la masse sèche de leurs racines. Aux concentrations plus élevées, le sel provoque une diminution très hautement significative de la masse de la matière sèche passant de 1,11g chez les plantes témoins à 0,86g et 0,63g chez les plantes soumises à 7,2 g/l et 12g/l de sel respectivement. Ce qui correspond aux pourcentages de réduction de 22,5% et 43,24%.

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative entre les deux variétés pour la biomasse sèche racinaire, en effet, Saida produit plus de matière sèche racinaire sur milieu témoin (1,23g) que Tichedrett (1,11g), alors qu'en présence du sel, cette matière sèche est réduite chez les deux variétés, en effet, la réduction est plus importante chez Tichedrett (22,5% et 43,24% de réduction chez les plantes soumises à 7,2g/l et 12g/l respectivement) que chez Saida (14,63% et 39,83% de réduction chez les plantes soumises à 7,2g/l et 12g/l respectivement).

7. Effet de la salinité sur le rapport de la masse de matière sèche de la partie aérienne / la masse de matière sèche des racines

Le rapport de la masse de matière sèche de la partie aérienne / la masse de matière sèche des racines peut nous informer sur la modification de la répartition de la matière sèche entre la partie aérienne et racinaire.

Tableau 9: effet des différentes concentrations en NaCl sur le rapport de la masse de matière sèche de la partie aérienne / la masse de matière sèche des racines.

	Témoin	4,2g/l	7,2g/l	12g/l
Saida	2,06	1,96	2,04	1,91
Tichedrett	2,36	2,08	2,04	1,79

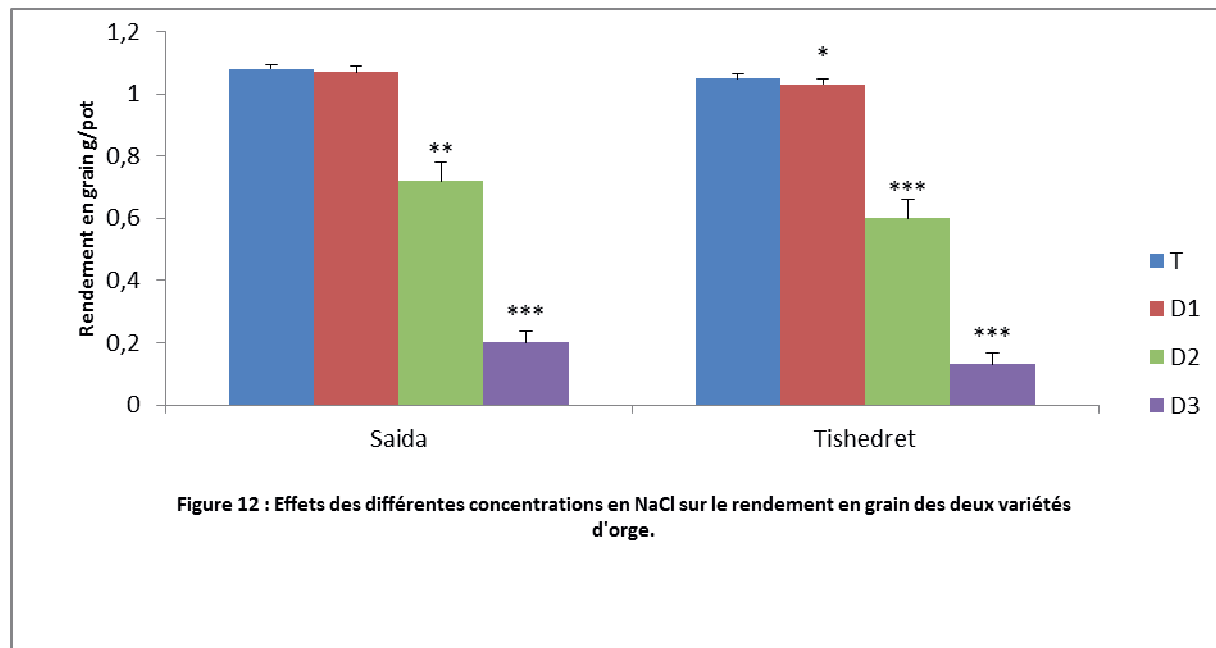
Aussi bien chez les plantes témoins que chez les plantes soumises à la contrainte saline, le rapport de la masse de matière sèche de la partie aérienne / la masse de la matière sèche des racines est supérieur à 1 indiquant ainsi que la masse sèche de la partie aérienne est plus élevée que celle de la partie racinaire. Ce rapport diminue légèrement pour les faibles concentrations en sel et assez fortement pour la concentration élevée en sel. En effet, la croissance de la partie aérienne est plus inhibé que la croissance de la partie racinaire; cette diminution étant plus marquée chez la variété Tichedrett (différence significative entre les deux variétés).

L'analyse des résultats présentés dans le tableau 9 montrent que chez la variété Saida, le traitement des plantes avec 4,2g/l de NaCl provoque une baisse significative de 4,85% du rapport de la masse de matière sèche de la partie aérienne / la masse de la matière sèche racinaire comparativement au témoin. Cette baisse est suivie par un léger redressement du rapport qui devient proche du témoin (différence non significative par rapport au témoin).

A la concentration la plus élevée le rapport de la masse de matière sèche de la partie aérienne / la masse de matière sèche des racines marque une diminution de 7,28 % suite à une forte réduction de la partie aérienne. Cette différence reflète en fait une plus grande sensibilité de la partie aérienne relativement aux racines.

Pour la variété Tichedrett, le rapport de la masse de matière sèche de la partie aérienne / la masse de matière sèche des racines diminue de manière très hautement significative sous l'effet des différentes concentrations en sel (4,2 ; 7,2 et 12) g/l, les variations observées correspondent respectivement à 11,86%, 13,55% et 24,15% de diminution par rapport au témoin. Ce qui signifie que pour l'ensemble des concentrations utilisées, la partie aérienne est plus sensible à l'effet du sel que la partie racinaire, suggérant que les plantes dépensent plus d'énergie pour la croissance racinaire en vue d'assurer l'approvisionnement en eau des plantes.

8. Effet de la salinité sur le rendement en grain par pot



Pour la variété Saida, l'effet du sel sur le rendement en grains ne se manifeste qu'à partir des concentrations supérieures à 4,2g/l. En effet, le rendement en grains passe de 1,08g chez les plantes témoin à 1,07g (différence non significative), 0,72g et 0,2g (différence très hautement significative) respectivement chez les plantes stressées avec les concentrations 7,2 et 12g/l, ce qui correspond aux pourcentages de réduction respectifs de 33,33% et 72,22%.

Lorsqu'elle est cultivée sur milieu dépourvu de sel, le rendement en grains de la variété Tichedrett est de 1,05g. En présence de sel, le rendement en grain diminue de manière significative passant à 1,03g pour les plantes stressées avec 4,2g/l de NaCl (différence significative par rapport au témoin), 0,6g et 0,13g (différence très hautement significative) chez les plantes stressées avec les concentrations 7,2 et 12g/l, soient des pourcentages de réduction de 1,90%, 42,28% et 78,09%.

L'analyse de la variance a révélé la présence de différence très hautement significatives entre les deux variétés pour le rendement en grains, en effet la variété Saida se montre plus productive que la variété Tichedrett aussi bien en milieu témoin qu'en présence de sel. Le rendement moyen en grains est de 0,79g chez Saïda et 0,72g chez Tichedrett.

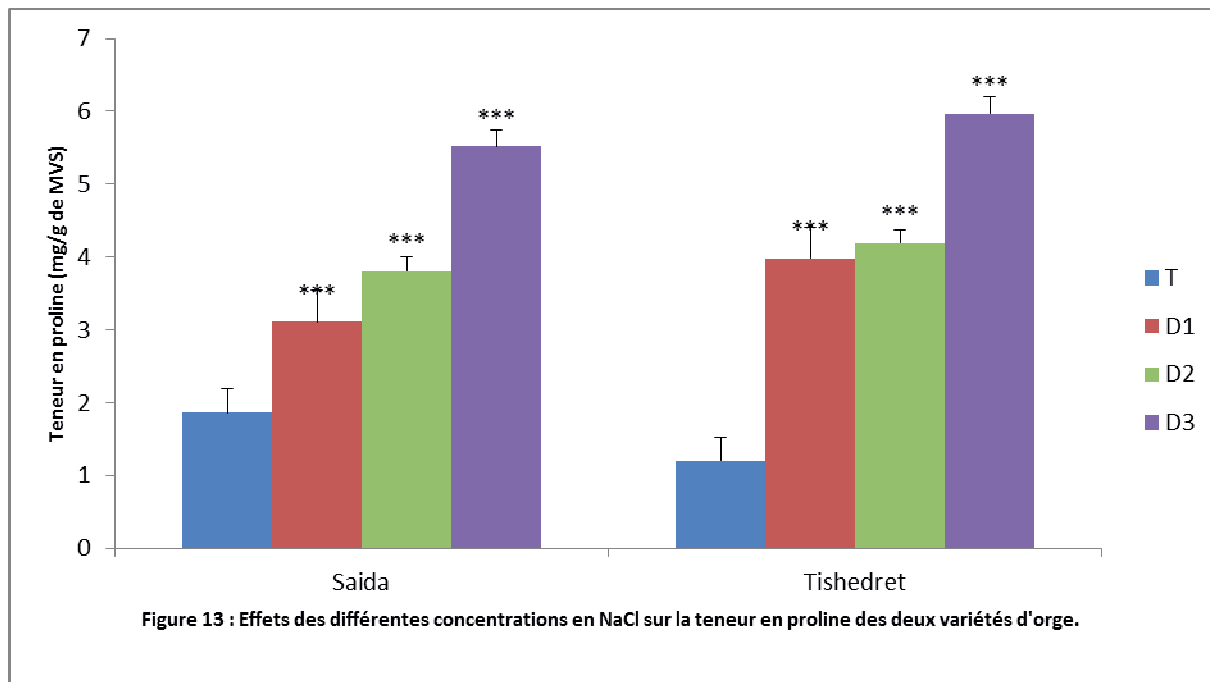
9. Effet de la salinité sur la teneur en proline

La proline est un des solutés, le plus stable et le plus distribué chez les plantules lors d'un stress. Son accumulation contribue à l'acquisition de la résistance au stress grâce au maintien de la turgescence cellulaire chez de nombreuses espèces.

Les résultats illustrés par la figure 13 montrent que la salinité a un effet marqué sur la teneur en proline qui augmente substantiellement avec les concentrations appliquées. Dans les feuilles des plantes témoins de la variété Saida, une teneur moyenne en proline de 1,86 mg/g de MVS est enregistrée. Cette quantité augmente progressivement et de manière très hautement significative pour atteindre 3,11mg/g de MVS, 3,81mg/g de MVS et 5,52mg/g de MVS chez les plantes soumises aux concentrations respectives 4,2 g/l, 7,2 g/l et 12 g/l, soient des pourcentages d'augmentations de 67,20%, 100,83% et 296,77%.

Les mêmes observations sont faites pour la variété Tichedrett chez laquelle la salinité provoque une augmentation plus marquée de la teneur en proline des plantes témoins qui passe de 1,2mg/g de MVS à 3,98mg/g de MVS, 4,19mg/g de MVS et 5,97mg/g de MVS, chez les plantes soumises aux concentrations respectives 4,2 g/l, 7,2 g/l et 12 g/l, soient des pourcentages d'augmentations de 231,66%, 249,16% et 397,5%.

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative entre les deux variétés pour leurs teneurs en proline: Tichedrett accumule plus de proline (une moyenne de 3,838 mg/g de MVS) en réponse à la salinité que Saida (une moyenne de 3,575 mg/g de MVS). Cependant, sur milieu témoin c'est Saida qui présente une plus grande quantité de proline que Tichedrett.



10. Effet de la salinité sur la teneur en sucres solubles

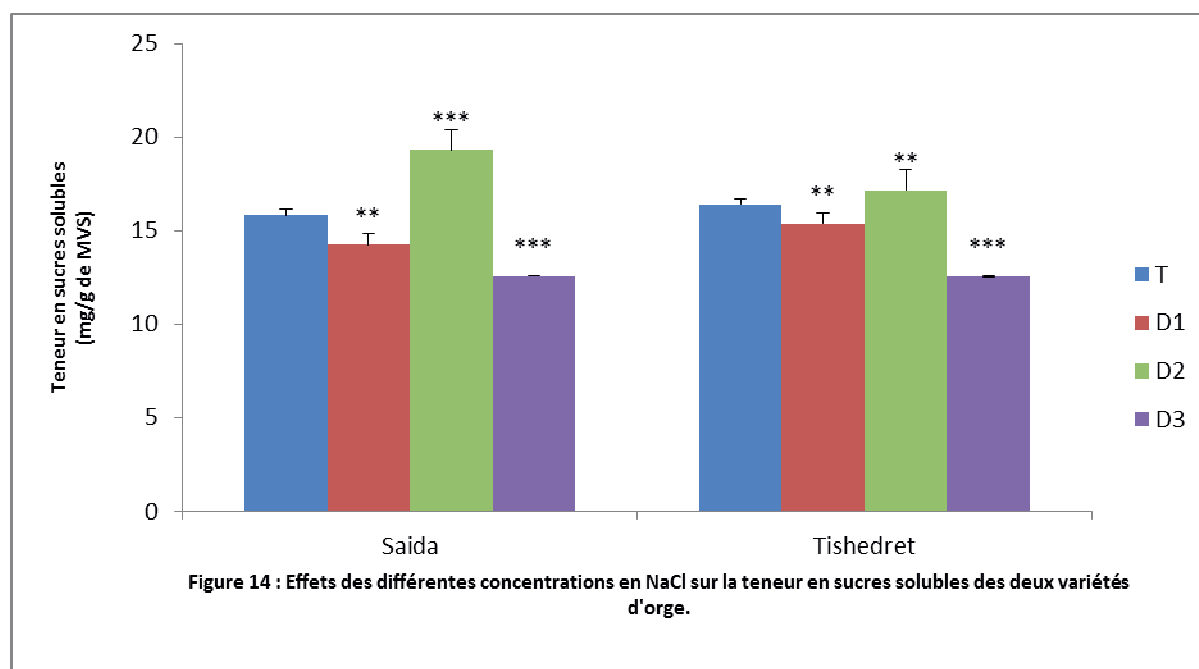
Les sucres sont les éléments carbonés primaires synthétisés et distribués dans toute la plante lors de la photosynthèse ; ils peuvent aussi agir en tant qu'osmo-régulateurs lors d'un stress.

Les résultats illustrés par la figure 14 montrent que chez Saida, la salinité entraîne une diminution hautement significative de la teneur en sucres solubles des feuilles qui passe de 15,82mg/g de MVS chez les plantes témoins à 14,23 mg/g de MVS chez les plantes soumises à 4,2g/l de NaCl (10,05% de réduction), cette baisse est suivie par une forte augmentation très hautement significative de la teneur en sucres solubles (19,31mg/g de MVS) chez les plantes soumises à 7,2 g/l de sel, soit 22,06% d'augmentation par rapport au témoin.

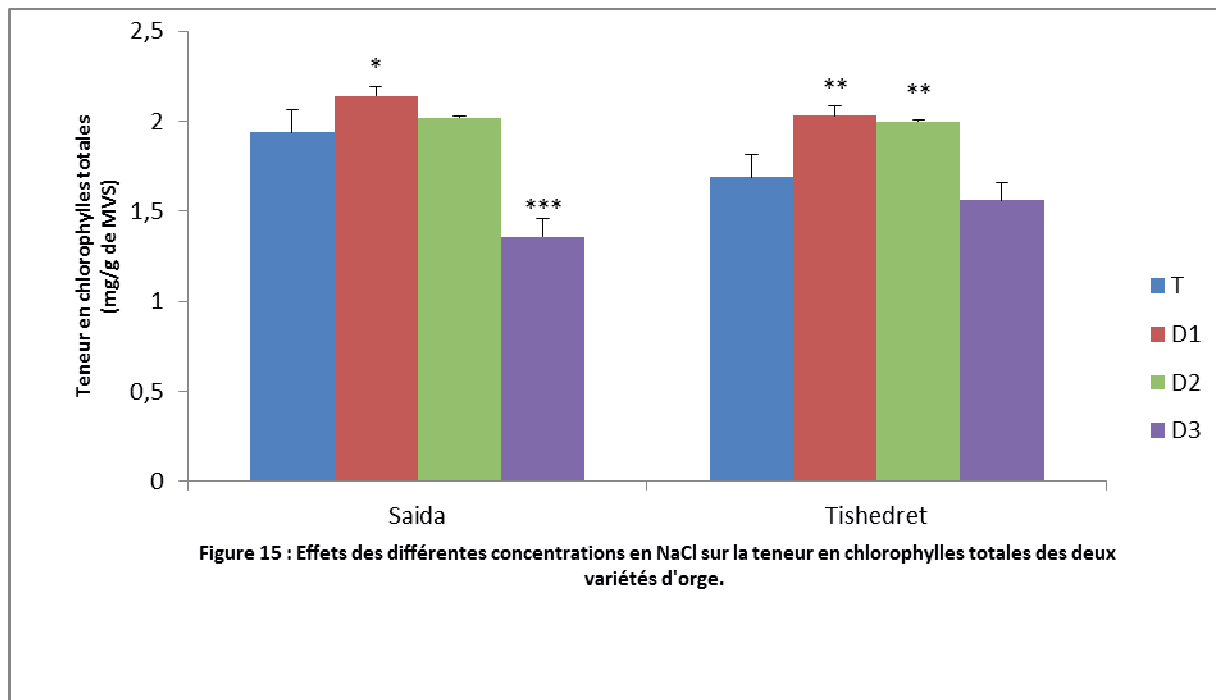
A un niveau de salinité plus élevé, une chute très hautement significative de la teneur en sucres solubles est par contre enregistrée, cette dernière atteint 12,57 mg/g MVS chez les plantes traitées avec 12g/l de NaCl. Soit un taux de réduction de 20,54% par rapport au témoin.

Les mêmes observations ont été notées chez la variété Tichedret où la salinité a provoqué une diminution hautement significative de la teneur en sucres solubles des feuilles passant de 16,47 mg/g MVS chez les plantes témoins, à 15,39 mg/g MVS chez les plantes soumises à 4,2g/l de NaCl (6,55% de réduction), cette quantité augmente ensuite significativement pour atteindre 17,16mg/g MVS chez les plantes soumises à 7,2g/l de NaCl, soit 4,18% d'augmentation. En présence de 12 g/l de NaCl, la teneur en sucres solubles chute à 12,54 mg/g MVS, soit une réduction très hautement significative de 23,86 %.

L'analyse de la variance n'a pas montré de différence significative entre les deux variétés étudiées pour le paramètre étudié teneurs en sucres solubles des feuilles.



11. Effet de la salinité sur la teneur en chlorophylles totales



Les résultats illustrés par la figure 15 montrent que chez la variété Saida, la teneur en chlorophylles totales passe de 1,94 mg/g de MVS chez les plantes témoins à 2,14 ; 2,02 et 1,36 mg/g de MVS respectivement chez les plantes soumises aux concentrations (4,2 ; 7,2 et 12) g/l de NaCl, soient des pourcentages d'augmentation de 10,31% et 4,12% chez les plantes soumises respectivement à 4,2g/l et 7,2 g/l et une réduction de 29,89% chez les plantes soumises à 12 g/l.

L'analyse statistique révèle que la teneur en chlorophylles totales chez les plantes témoins diffère significativement de celle notée chez les plantes traitées avec 4,2g/l, tandis que la différence devient non significative pour les plantes traitées avec 7,2 g/l de NaCl. À 12 g/l de sel, la différence est très hautement significative par rapport au témoin.

Chez les plantes témoins de la variété Tishedrett, la teneur en chlorophylle totale des feuilles passe de 1,69 mg/g de MVS à 2,03 mg/gde MVS, 2 mg/g de MVS et 1,56 mg/gde MVS respectivement chez les plantes soumises aux concentrations (4,2 ; 7,2 et 12) g/l de NaCl, soient 20,11% et 18,34% d'augmentation chez les plantes soumises respectivement à 4,2 et 7,2 g/l et une réduction de 7,69% chez plants soumises à 12g/l.

L'analyse statistique révèle que la teneur en chlorophylles totales chez les plantes témoins diffère de manière hautement significativement de celle notée chez les plantes traitées avec 4,2 g/l et 7,2 g/l de NaCl, tandis que la différence n'est pas significative pour les plantes traitées avec 12 g/l de NaCl.

L'analyse statistique n'a pas révélé de différence significative pour la concentration en chlorophylle total des feuilles entre les deux variétés.

12. Effet de la salinité sur la teneur en caroténoïdes

Les résultats exprimé dans la figure 16 montrent que chez la variété Saida, la teneur en caroténoïdes dans les feuilles des plantes témoin est de 0,6 mg/g de MVS, cette teneur augmente lorsque les plantes sont traitées avec 4,2 et 7,2 g/l de sel pour atteindre respectivement 0,64 mg/g MVS (différence hautement significative) et 0,76 mg/g de MVS (différence très hautement significative) et diminue en suite jusqu'à 0,55 mg/g de MVS chez les plantes traitées avec 12 g/l de NaCl (différence hautement significative) soient une augmentation de 6,6% et 26,66% respectivement chez les plantes traitées avec 4,2 g/l et 7,2 g/l et une diminution de 8,33% chez les plantes soumises à 12 g/l.

Pour Tichedrett, la teneur en caroténoïde des plantes témoins est de 0,71 mg/gde MVS. Cette teneur reste stable pour les plantes traitées avec 4,2g/l de NaCl par rapport au témoin tandis que chez les plantes soumises à 7,2 g/l, elle augmente de façon très hautement significative pour atteindre 0,76 mg/g de MVS puis elle diminue chez les plantes traitées avec 12 g/l jusqu'à 0,67 mg/g de MVS (différence hautement significative par rapport au témoin), Soient une augmentation de 7% chez les plantes soumises à 7,2 g/l et une diminution de 5,63% chez les plantes soumises à 12g/l.

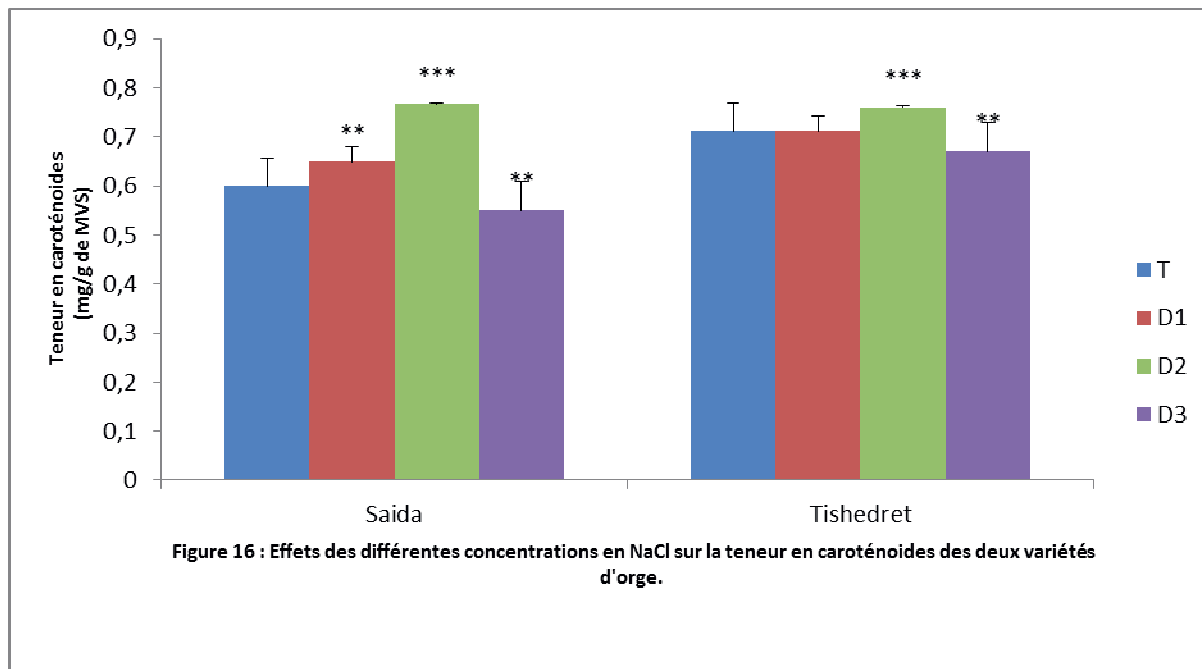


Figure 16 : Effets des différentes concentrations en NaCl sur la teneur en caroténoïdes des deux variétés d'orge.

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les deux variétés pour leurs teneurs en caroténoïdes, en effet, Tichedrett accumule plus de caroténoïdes que Saida en milieu témoin ou sous différentes traitements salins avec une moyenne de 0,714 mg/g de MVS pour Tichedrett et 0,639 mg/g de MVS pour Saida.

13. Effet de la salinité sur le rapport chlorophylle a / chlorophylle b

Les résultats présentés dans le tableau 10 montre que chez la variété Saida le rapport Chl a / Chl b varie de 2,04 chez les plantes témoins à 2,49 ; 2,93 et 2,33 chez les plantes soumises respectivement aux concentrations (4,2 ; 7,2 et 12) g/l de NaCl, soient des taux d'augmentation de 18,07%, 30,37% et 14,21% par rapport au témoin.

Tableau 10: Effet des différentes concentrations en NaCl sur le rapport chlorophylle a / chlorophylle b.

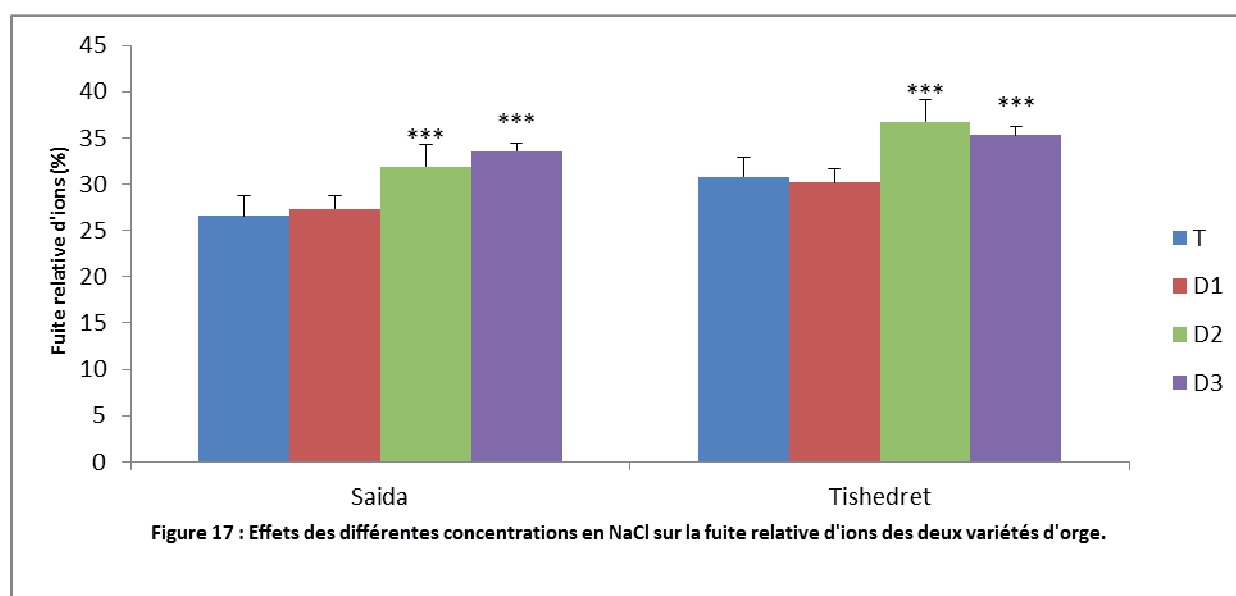
	Témoin	4,2g/l	7,2g/l	12g/l
Saida	2,04	2,49	2,93	2,33
Tichedrett	2,59	2,24	2,22	2,85

Chez Tichedrett, le rapport chl a / chl b des plantes témoins est de 2,59, en présence de 4,2 et 7,2 g/l de NaCl, celui-ci diminue respectivement à 2,24 et 2,22 correspondant à 13,51% et 14,28% de réduction par rapport au témoin. Cependant, à 12 g/l de NaCl, le rapport chl a / chl b augmente à 2,85 ce qui correspond à 10% d'augmentation.

L'analyse statistique révèle que les variations du rapport chl a / chl b observées sous les différentes concentrations en sel pour les deux variétés étudiées ne sont significatives que pour la concentration 7,2g/l. Pour les autres concentrations en sel (4,2 et 12 g/l), le rapport chl a / chl b reste pratiquement identique par rapport au témoin qui traduit en fait une diminution de la teneur en chlorophylle a qui se fait au même titre que la chlorophylle b, ce qui indique qu'à ces concentrations, le NaCl affecte aussi bien la chlorophylle a que la chlorophylle b.

14. Effet de la salinité sur l'intégrité membranaire

La stabilité des membranes cellulaires est un facteur important de la tolérance des plantes au stress. Cette stabilité dépend des propriétés des protéines membranaires, de la composition lipidique et de l'activité de mécanismes de défense contre la dégradation des membranes. L'estimation de l'intégrité membranaire par la mesure de la fuite relative d'électrolytes est basée sur le fait que les cellules endommagées par le stress libèrent facilement leurs électrolytes.



En présence de 4,2 g/l de sel, la fuite relative d'ions des feuilles des plantes de la variété Saida est de 27,35%, cette valeur est légèrement supérieure à celle enregistré chez les plantes témoins (26,61%) soit 2,78% d'augmentation (différence non significative).

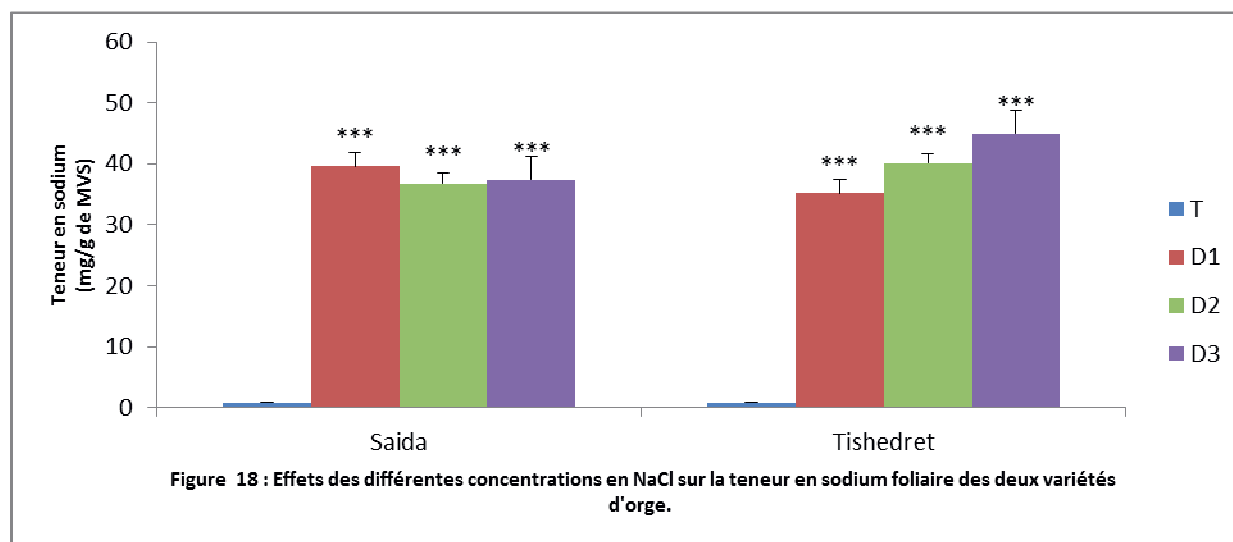
A des niveaux de salinité plus élevés, le sel entraîne une augmentation très hautement significative de la fuite relative d'ions atteignant ainsi 31,93% et 33,57% respectivement pour les concentrations 7,2g/l et 12 g/l soit 20% et 26,15% d'augmentation par rapport au témoin.

Au niveau des feuilles des plants témoin de la variété Tichedrett, la fuite relative d'ions est de 30,8%, cette valeur s'élève à 31,21%, 36,78 ; 42% et 35,33%, ce qui correspond à une augmentation de 1,91%, 19,41% et 14,7% respectivement aux concentrations 4,2 ; 7,2 et 12g/l. En comparaison avec le témoin, l'augmentation de la fuite relative d'ions est non significative pour la concentration 4,2g/l et très hautement significative chez les plantes soumises aux (7,2 et 12) g/l de NaCl.

Pour les deux variétés étudiées, l'analyse de la variance ne révèle aucune différence significative pour le caractère fuite relative d'ions.

15. Effet de la salinité sur la teneur en sodium

Le sodium (Na^+) n'est pas essentiel pour la plante et est même généralement toxique à forte concentration. La relative halotolérance de certaines espèces semble être liée à leur capacité à stocker les ions Na^+ dans leur vacuole.

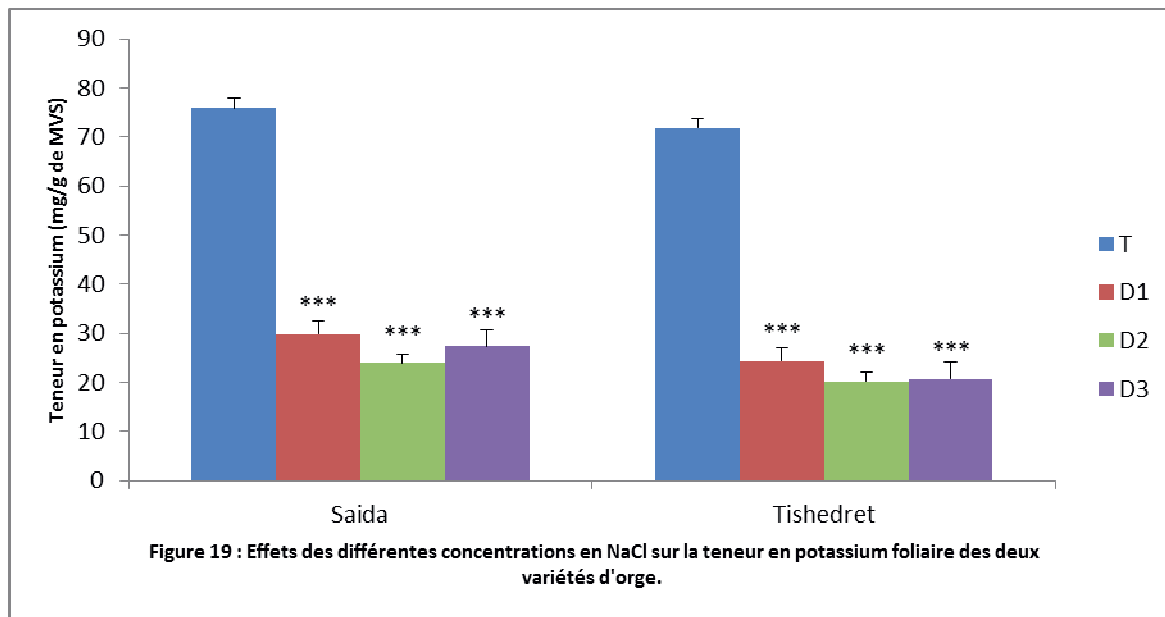


Les résultats exprimés dans la figure 18 montrent que les feuilles des plants témoin de la variété Saida présentent une teneur en sodium de 0,81 mg/gde MVS, cette teneur augmente de façon très hautement significative lorsque les plantes sont traitées avec 4,2 g/l, 7,2 g/l et 12g/l pour atteindre respectivement 39,6 mg/g, 36,8 mg/g et 37,41mg/gde MVS soient une augmentation respective de 4788,88 % (48,88 fois le témoin),4443% (45,43 fois le témoin) et 4518% (46,18 fois le témoin).

Chez Tichedrett, la teneur en sodium des feuilles des plantes témoin est de 0,79 mg/g de MVS, cette teneur augmente lorsque les plantes sont traitées avec 4,2 g/l, 7,2 g/l et 12g/l pour atteindre respectivement 35,15 mg/g, 40,07 mg/g et 44,97 mg/g de MVS soient une augmentation respective de 4349% (44,49 fois le témoin), 4978% (50,72fois le témoin) et 5592% (56,92 fois le témoin). L'analyse de ces résultats révèle que le traitement des plantes avec la concentration 4,2 g/l, 7,2 g/l et 12g/l provoque une augmentation très hautement significative de la teneur en sodium.

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les deux variétés pour leurs teneurs en sodium ou il s'est avéré que Tichedrett accumule plus de sodium dans ses feuilles que Saida sous différents traitements salin.

16. Effet de la salinité sur la teneur en potassium

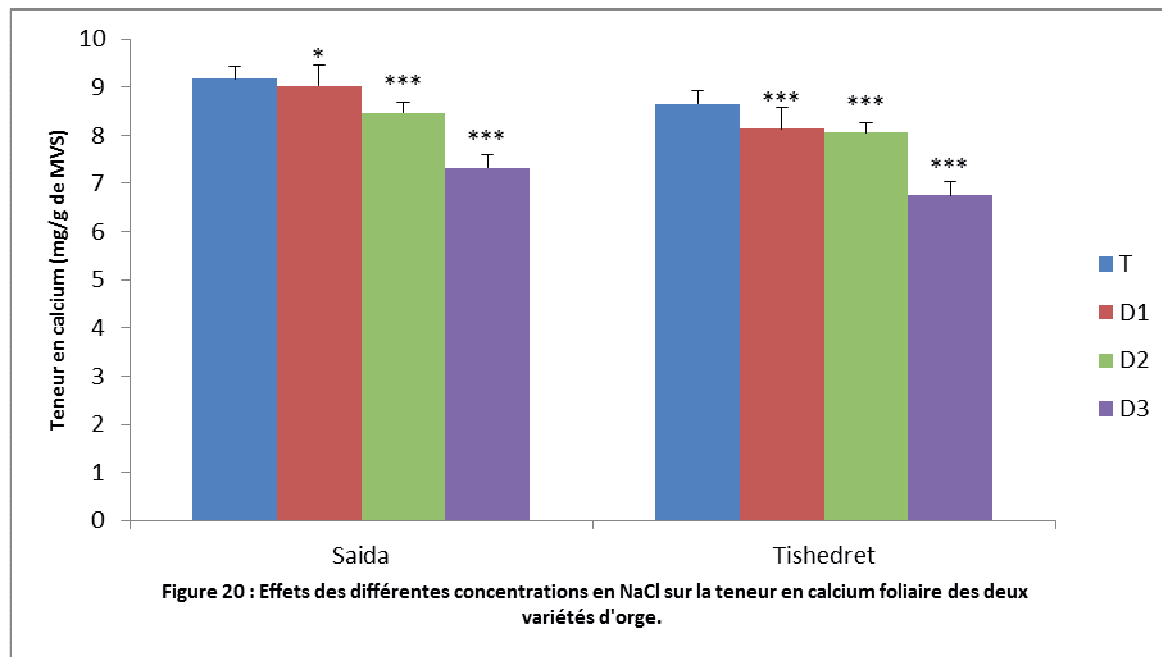


Chez Saida, la teneur en potassium des feuilles des plantes témoin est de 75,9 mg/g de MVS, cette teneur diminue lorsque les plantes sont soumises à 4,2g/l, 7,2 g/l et 12g/l pour atteindre respectivement 29,78 mg/g de MVS, 23,9 mg/g de MVS et 27,41mg/g de MVS soient une diminution respective de 60,76%, 68,51% et 63,88%. L'analyse de ces résultats révèle que le traitement des plantes avec les concentrations 4,2g/l, 7,2 g/l et 12g/l provoque une diminution très hautement significative de la teneur en potassium.

Chez Tichedrett, les feuilles des plantes témoin présentent une teneur en potassium de 71,82 mg/g de MVS, cette teneur diminue de façon très hautement significative lorsque les plantes sont traitées avec 4,2 g/l, 7,2 g/l et 12 g/l pour atteindre respectivement 24,35 mg/g, 20,44 mg/g et 20,68 mg/g de MVS soient une diminution respective de 66,10%, 71,51% et 71,20%.

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les deux variétés pour la teneur en potassium, sur milieu témoin, la teneur en potassium est plus importante chez la variété Saida (75,9 mg/g de MVS) que chez la variété Tichedrett (71,82 mg/g de MVS). En présence de NaCl, la teneur en potassium diminue pour les deux variétés en concordance avec l'augmentation de concentration en NaCl. Cette réduction est plus importante chez Tichedrett (71,20%) que chez Saida (63,88%), avec une teneur moyenne en potassium de 39,24 mg/g de MVS pour Saida et 34,28 mg/g de MVS pour Tichedrett.

17. Effet de la salinité sur la teneur en calcium



Les résultats exprimé dans la figure 20 montrent que chez Saida, la teneur en calcium des plantes témoin (9,17 mg/g de MVS) diminue lorsque les plantes sont traitées avec 4,2 g/l, 7,2 g/l et 12g/l pour atteindre respectivement 9,02 mg/g, 8,47 mg/g et 7,32 mg/g de MVS soient une diminution de 1,63%, 7,6% et 20,17% respectivement chez les plantées traitées avec 4,2g/l, 7,2 g/l et 12g/l de NaCl.

L'analyse de ces résultats révèle que le traitement des plantes avec la concentration 4,2 g/l provoque une diminution significative de la teneur en calcium, tandis que les plantes soumise à des concentrations plus élevées de 7,2 et 12 g/l de NaCl présentent une diminution très hautement significative.

Chez Tichedrett, une diminution très hautement significative de la teneur en calcium dans les feuilles des plantes témoin est notée lorsqu'elles ont traitées avec 4,2g/l, 7,2 g/l et 12g/l de NaCl. Cette teneur passe de 8,66 mg/g de MVS à 8,13 ; 8,05 et 6,75 mg/gde MVS respectivement chez les plantes soumises à 4,2 ; 7,2 et 12g/l de NaCl. Soient une diminution respective de 6,12%, 7,04% et 22,05%

L'analyse de la variance n'a pas révèle de différence significative entre les deux variétés pour leurs teneurs en calcium.

18. Effet de la salinité sur le rapport K^+/Na^+

Tableau 11: Effet des différentes concentrations en NaCl sur le rapport K^+/Na^+ .

	Témoin	4,2g/l	7,2g/l	12g/l
Saida	93,7	0,75	0,64	0,73
Tichedrett	90,88	0,69	0,5	0,45

Aussi bien chez Saida que Tichedrett, le rapport taux de K^+/Na^+ diminue considérablement pour les trois concentrations en sel utilisé; cette diminution est plus marquée chez la variété Tichedrett que la variété Saida (différence significative entre les deux variétés).

L'analyse des résultats présentés dans le tableau 11 montrent que chez la variété Saida, le traitement des plantes avec 4,2 ; 7,2 et 12 g/l de NaCl provoque une baisse significative de 1249,33%, 1464,04% et 1283,56% du rapport du taux de K^+/Na^+ comparativement au témoin (différence très hautement significative par rapport au témoin).

Pour la variété Tichedrett, le rapport taux de K^+/Na^+ diminue de manière très hautement significative sous l'effet des différentes concentrations en sel (4,2 ; 7,2 et 12) g/l, les variations observées correspondent respectivement à 1317,01%, 1817,6% et 2019,55% de diminution par rapport au témoin.

Discussion

Discussion

Le présent travail est une contribution à la compréhension du comportement agro-physiologique de deux variétés d'orge Algériennes les plus cultivées à grande échelle (Saida et Tichedrett), à l'égard d'une contrainte saline. Pour ce faire, les plantes des deux variétés ont été soumises depuis le stade 1-2 feuilles jusqu'à la récolte à un régime de NaCl croissant 4,2 g/l, 7,2 g/l et 12 g/l. Les différents paramètres relatifs à la croissance et à la physiologie des deux variétés ont été ainsi mesurés.

De nombreuses études ont montré que l'une des premières manifestations d'une diminution de la turgescence cellulaire est la réduction de la croissance des plantes. L'ensemble des résultats obtenus pour les paramètres agronomiques étudiés (masse sèche de la partie aérienne et racinaire, surface foliaire, nombre de talles et rendement en grain) montre que la présence du chlorure de sodium dans le milieu de culture affecte négativement la croissance et le rendement des deux variétés étudiées. Cet effet est d'autant plus important que l'intensité du stress est élevée.

Nos résultats ont montré que les deux variétés présentent un comportement similaire pour les caractères : masse sèche de la partie aérienne, surface foliaire et nombre de talles. Cependant, la variété Saida se montre plus productive (Rendement en grains/pots) que la variété Tichedrett en milieu témoin ou en présence de sel avec un système racinaire plus développé et moins affecté que celui de la variété Tichedrett.

la réduction de la croissance et du rendement de l'orge sous stress salin a été rapportée par plusieurs chercheurs (Ayers *et al.*, 1952 ; Greenway, 1962 ; Bole et Wells, 1979 ; Richards *et al.*, 1987 ; Al-Khafaf *et al.*, 1990 ; Cramer *et al.*, 1990 ; Hussain *et al.*, 1997 ; Al Tahir *et al.*, 1997 ; Royo *et al.*, 2000 ; Jaradat *et al.*, 2004 ; Katerji *et al.*, 2006 ; Bchini *et al.*, 2010). La présente étude a montré que le poids sec de la partie aérienne a été davantage réduit que le poids sec des racines ; ce résultat est en accord avec ceux obtenus par plusieurs chercheurs (Rawson, 1986 ; Rawson *et al.*, 1988 ; Al-Khafaf *et al.*, 1990 ; Pessaraki *et al.*, 1991 ; Kuiper *et al.*, 1990 ; Munns et Sharp, 1993 ; Bchini *et al.*, 2010).

La salinité du sol, comme la sécheresse, réduit le potentiel hydrique du sol et la capacité des plantes à absorber l'eau, ce qui réduit rapidement le taux d'expansion des cellules dans les tissus en croissance. Le taux d'émergence des feuilles ainsi que le taux de formation des primordias diminue (Grieve *et al.* 1993; Lazof et Bernstein, 1999), la formation lente des surfaces foliaires photosynthétiques réduit à son tour le flux des assimilats vers les tissus méristématiques en croissance de la plante (des feuilles et des racines au même temps), bien que les feuilles soient souvent plus affectées que les racines (Munns et Sharp, 1993; Munns et Cramer, 1996), suggérant un effet différentiel sur la division cellulaire ou la formation de primordias pour les racines par rapport à la partie aérienne. Lorsque les racines sentent un déficit en eau au niveau du sol, leurs cellules modifient leur taux de croissance et de différenciation, l'architecture du système racinaire change dans le degré de ramification ou d'élongation des ramifications (Rahnama *et al.*, 2011).

Nos résultats confirment le fait que la croissance de plusieurs organes peut être inégalement affectée. En effet, un consensus existe sur le fait que chez les plantes soumises au stress, les racines sont souvent les organes dont la croissance est la moins affectée, par rapport aux parties aériennes, végétatives et reproductrices (Saab *et al.*, 1990). Celles-ci (les racines) poussent plus afin de pénétrer plus profondément dans les sols secs, salins ou compactés (Munns et Cramer, 1996) ; la limitation de la croissance foliaire lors d'un stress représente un mécanisme adaptatif qui permet de réduire la transpiration et donc de maintenir l'état hydrique des plantes. Ceci traduit une différence dans la régulation des gènes affectant la croissance chez les racines et les parties aériennes lors d'un stress (Wu et Cosgrove, 2000).

Au stade début épiaison, la salinité a provoqué la diminution du nombre de talles ainsi que la surface foliaire totale des deux cultivars étudiés qui se comportent de façon relativement proche avec des différences non significative pour le nombre de talles et de surface foliaire réduite. Des résultats similaires ont été rapportés pour l'orge mais à différents degrés de réduction (Rawson, 1986 ; Hussain *et al.*, 1997 ; Katerji *et al.*, 2006). En effet, les changements développementaux apparaissent au niveau de la partie aérienne après une semaine d'exposition au sel ou plus (selon le degré de tolérance). Par exemple, le nombre de talles a été réduit de deux tiers chez le blé sous 150 mM (10g/l) de NaCl (Nicolas *et al.*, 1993).

La réduction de surfaces foliaires est nécessaire au maintien de l'état hydrique des plantes, mais elles se traduisent par une baisse de photosynthèse. L'appareil reproducteur réduit le nombre de grains pour maintenir leur viabilité, mais ceci réduit de façon irréversible le rendement.

A long terme, il peut y avoir des effets évidents de la salinité sur le développement des organes reproducteurs. La salinité réduit le nombre de fleurs par épis de l'orge et du blé (Munns *et al.*, 1988; Grieve *et al.*, 1994), augmente la stérilité, et modifie le temps de la floraison et la maturité du blé et du riz, réduit le nombre de grains pour maintenir leur viabilité (Maas et Poss, 1989; Khatun *et al.*, 1995; Munns et Rawson, 1999), ce qui mène au final à la diminution du rendement.

Chez les deux variétés d'orge étudiées, la salinité a provoqué la chute du rendement en grains mais à des degrés différents de réduction où Saida se montre plus productive que Tichedrett (différence très hautement significative) en milieu témoin ou en présence de sel avec une réduction moyenne de 35,49% pour Saida et 40,75% pour Tichedrett. Le rendement en grain moyen (témoin et sous stress) est de 0,76g pour Saida et 0,70g pour Tichedrett.

Rappelons que les doses de sel utilisées pour notre étude (4,2 ; 7,2 et 12) g/l sont selon Maas et Hoffman (1977) susceptibles de provoquer chez l'orge, des chutes de rendement de l'ordre de 10%, 50% et 100%, alors que celles enregistrées pour les deux variétés étudiées sont de l'ordre de 1,90%, 42,28% et 78,09% pour Tichedrett et 0,92%, 33,33% et 72,22% pour Saida, ce qui montre que les deux variétés sont supérieures à la moyenne pour le caractère rendement en grain et présentent des potentialités intéressantes pour ce caractère .

La tolérance au sel est souvent vue comme l'interaction de l'absorption, du transport et des processus d'excrétion des ions qui permet l'ajustement osmotique effectif par le biais de l'accumulation de sel. D'où la quantification de l'accumulation des ions Na^+ , K^+ et Ca^{2+} dans le tissu végétal.

Les niveaux de stress salin appliqués à nos deux variétés ont induit une augmentation importante de la teneur en Na^+ des feuilles. Une importante accumulation est enregistrée avec la première dose de sel appliquée (4,2g/l), et qui est proche des taux enregistrés pour les

doses supérieures (7,2 et 12g/l). Cependant, c'est Tichedrett qui accumule le plus de sodium dans ces feuilles que Saida sur milieu témoin ou sous différents traitements salin avec 30,21 mg/g de MVS en moyenne pour Tichedrett soit 49,73% d'augmentation par rapport au témoin et 28,58 mg/g de MVS en moyenne pour Saida soit 45,83% d'augmentation.

L'accumulation du sodium est accompagnée par une diminution des teneurs en K^+ des feuilles des deux variétés dès l'application du stress, cette réduction est plus importante chez Tichedrett (71,20%) que chez Saida (63,88%). Notons que les taux de diminution du K^+ pour les trois doses de sel appliquées (4,2 ; 7,2 et 12) g/l sont plus au moins proches : 60,76%, 68,51% et 63,88% de réduction pour Saida et 66,10%, 71,53% et 71,20% pour Tichedrett.

Les résultats obtenus pour nos deux variétés pour les taux de sodium accumulés et les taux de potassium diminués montrent que c'est la variété Saida qui accumule le moins de sodium et qui perd le moins de potassium ce qui révèle sa supériorité par rapport à Tichedrett pour ces deux caractères. Cependant, les deux variétés présentent la capacité de maintenir un taux plus au moins stable en K^+ vis-à-vis des différentes doses de salinité appliquées, ce qui est un caractère déterminant pour la tolérance de l'orge à la salinité (Chen *et al.*, 2005, 2007a, b, 2008; Shabala et Cuin, 2008).

Concernant les niveaux de Ca^{2+} , pour les deux variétés étudiées, le stress salin a provoqué une diminution dans l'absorption du Ca^{2+} et son accumulation au niveau des feuilles avec un comportement similaire pour les deux variétés étudiées (l'analyse de la variance n'a pas révélé de différence significative entre les deux variétés pour leurs teneurs en calcium). En effet, plus le niveau de stress salin appliqué augmente, plus les teneurs en Ca^{2+} diminuent, en particulier pour la dose de sel supérieur 12 g/l (22,05% de diminution pour Tichedrett et 20,17% pour Saida).

Les mécanismes par lesquels la salinité affecte les différents paramètres de développement ne sont pas clairs. Un effet spécifique du sel est une cause improbable de l'altération du développement des organes de reproduction ou de formation des feuilles et des tiges, en effet, le Na^+ et le Cl^- sont présents dans les primordias, mais à des concentrations trop faibles pour affecter le métabolisme. Par exemple, au niveau de l'apex de reproduction d'un cultivar d'orge sensible au sel durant le stade de développement de l'épi, le Na^+ a augmenté à un maximum

de 50 mM au moment de l'initiation finale des épillets, tandis que le taux du Cl^- reste faible, de 10-15 mM (Munns *et al.*, 1988). Des résultats similaires ont été notés chez quatre autres cultivars d'orge et de blé avec des différences connues pour la tolérance à la salinité (Munns et Rawson, 1999). Il est peu probable que ces niveaux de Na^+ soient toxiques pour le métabolisme du fait que c'est seulement des taux de Na^+ supérieurs à 100 mM qui sont connus pour affecter les enzymes, et seulement si le ratio K^+/Na^+ tombe en dessous de 1:1 (Munns et Rawson, 1999).

En effet, les glycophytes tolérantes, comme l'orge, transportent et accumulent de grandes quantités de Na^+ dans leurs feuilles et associent la résistance à la salinité à l'aptitude à transporter de grandes quantités de Na^+ dans les feuilles. Il semble que ce comportement résulte d'un système efficace de compartimentation des ions au niveau cellulaire (vacuole) et au niveau tissulaire (vieilles feuilles et racine) (Greenway, 1962 ; Wynjones et Storey, 1978 ; Jeschk et Wolf, 1985) avec une re-translocation du K^+ des feuilles âgées vers les jeunes feuilles et la limitation de l'export du Na^+ des vieilles feuilles vers les jeunes feuilles (Wolf et Jeschk, 1987 ; Wolf *et al.*, 1991) ce qui explique la tolérance à l'accumulation foliaire, et aussi la faible conduction de cet ion dans le phloème. Mais, ce schéma de tolérance suppose un contrôle des quantités accumulées dans les feuilles, qui ne doivent pas perturber l'équilibre osmotique, c'est pourquoi au niveau variétal, le degré de résistance au sel est défini par le contrôle exercé sur cette accumulation, les variétés les plus tolérantes sont celles qui limitent le plus efficacement le transport de Na^+ dans les feuilles (Jeschk *et Wolf*, 1985).

L'excès de sel peut limiter l'approvisionnement des plantes en macroéléments nutritifs essentiels tels que le K^+ et provoquer l'accumulation du Na^+ au niveau des feuilles et des racines. Le potassium est le soluté inorganique le plus éminent, il apporte une contribution majeure dans la réduction du potentiel osmotique des cellules pour faciliter la turgescence et le maintien de l'équilibre hydrique global de la plante. Par conséquent, le maintien d'un niveau adéquat en K^+ est essentiel pour la survie des plantes dans des sols salin et peut être considéré comme un critère important de sélection des plantes tolérante à la salinité (Gorham *et al.*, 1990, Maathuis et Amtmann, 1999, Cuin *et al.*, 2003).

De nombreuses études ont montré que la concentration en K^+ des tissus végétaux est réduite avec l'augmentation de la salinité. Janzen et Chang (1987) ont trouvé que les plantes d'orge exposées à la salinité contenaient seulement un tiers de la concentration en K^+ dans la partie aérienne que les plantes témoins. Leigh et Wyn Jones (1984) ont montré que la concentration en K^+ pouvait baisser à 15 mg/g de poids sec ou moins, ce qui concorde avec des concentrations critique en K^+ de 5 à 20 mg/g de poids sec rapportés pour divers tissus dans un certain nombre de cultures.

Il a été suggéré que lorsque la concentration tissulaire en K^+ diminue, la concentration dans le cytoplasme est préférentiellement maintenue pour le fonctionnement des processus dépendant du K^+ (Wyn Jones, 1999). La rétention du potassium dans le cytosol est considérée comme étant l'une des composantes clés qui détermine la tolérance à la salinité chez l'orge (Chen *et al.*, 2005, 2007a, b, 2008; Shabala et Cuin, 2008). Donc, ces changements dans la concentration en K^+ des tissus sont susceptibles d'être au détriment du K^+ vacuolaire, qui est remplacé par d'autres solutés (comme le Na^+) séquestrés dans la vacuole pour maintenir le potentiel osmotique (Wyn Jones, 1999).

De plus, l'orge a un système de recirculation très efficace du K^+ qui est étroitement liée aux mécanismes de régulation du Na^+ . Ce mécanisme qui permet la remobilisation et la retranslocation du K^+ vers les régions en croissance joue un rôle important dans la compartimentation du Na dans le cortex racinaire et dans le maintien d'un taux élevé en K^+ au niveau des régions en croissance (la partie aérienne et racinaire), les protégeant ainsi de la toxicité du Na^+ (Jeschke et Wolf, 1985 ; Wolf et Jeschke, 1987).

En plus du K^+ , Le sodium peut diminuer le taux de calcium des plantes, en effet, le Ca^{2+} est un nutriment essentiel aussi important que le K^+ (Marschner, 1995), et son rôle protecteur pour les plantes en milieux salins est connu depuis un siècle (Kearney et Harter, 1907 ; LaHaye et Epstein, 1969). Près de 50% du Ca^{2+} cellulaire est lié à l'intérieur des parois des cellules à des groupes carboxyle, particulièrement au niveau des pectines (Hanson, 1984), le calcium joue un rôle crucial dans le maintien de l'intégrité structurale et fonctionnelle des membranes végétales (Rengel, 1992 ; Marschner, 1995).

La croissance des plantes dépend du Ca^{2+} , la division et les processus de l'élongation cellulaire sont affectés par la concentration en ions Ca (Rengel, 1992). Le Ca^{2+} est également utilisé comme un messenger secondaire dans de nombreuses voies de transduction du signal dans la cellule (Bush, 1995).

L'induction de la déficience en Calcium par le Sodium a été observée par de nombreux chercheurs lorsque le ratio $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ dans la solution du sol, à un niveau de salinité donné pour une plante particulière, augmente au-dessus d'un seuil critique (Kopittke et Menzies, 2004).

Chez l'orge, le taux du Ca^{2+} au niveau des tissus foliaires en expansion diminue avec l'augmentation de la salinité (Lynch et Läuchli, 1985; Lynch *et al.*, 1988 ; Eheret *et al.*, 1990). La salinité provoque également le déplacement du Ca^{2+} associée aux membranes de protoplastes d'orge (Bittisnich *et al.*, 1989), et les génotypes d'orge tolérants ont moins de Ca^{2+} déplacé que les génotypes sensibles de la même espèce. Cramer *et al.* (1989) ont trouvés que 10mol/m³ de Ca^{2+} améliore la croissance de l'orge à 9,5g/l de NaCl.

La carence en calcium peut être en partie liée à l'effet du Na^+ sur la distribution du Ca^{2+} à l'intérieur de la plante (Lazof et Bernstein, 1999). Certains scientifiques ont constaté que le Na^+ peut restreindre le mouvement radial du Ca^{2+} de l'épiderme racinaire vers les vaisseaux du xylème racinaire (Lynch et Läuchli, 1985), tandis que d'autres ont trouvé une inhibition du transport du Ca^{2+} vers la partie aérienne, particulièrement les régions méristématiques et les feuilles en développement (Maas et Grieve 1987; Grieve et Maas 1988; Lazof et Läuchli, 1991).

La capacité du Ca^{2+} à former des liens intermoléculaires lui donne un rôle important dans le maintien de l'intégrité des structures membranaires ainsi que la régulation de la sélectivité et le transport des ions (Läuchli et Epstein, 1990; Cramer, 2002). Avec La diminution de la concentration en Ca^{2+} , les membranes deviennent plus perméables.

La stabilité des membranes cellulaires est un facteur important de la tolérance des plantes au stress hydrique. Cette stabilité dépend sous condition de stress des propriétés des protéines membranaires, de la composition lipidique et de l'activité de mécanismes de défense contre la

dégradation des membranes (Sgherri *et al.*, 1993). Des perturbations dans la structure et le fonctionnement des membranes, sont les principales causes de dommages causés par le sel: les membranes deviennent très poreuses lorsqu'elles sont desséchées ce qui provoquerait le déplacement des protéines membranaires, qui du fait de la fuite de solutés, contribue à une perte de sélectivité des membranes, une destruction généralisée de la compartimentation cellulaire ainsi qu'à une perte des activités des enzymes membranaires (Hopkins et Evard, 2003).

L'intégrité membranaire ou perméabilité membranaire est estimée par la mesure de la fuite relative d'électrolytes qui est basée sur le fait que les cellules endommagées par le stress libèrent facilement leurs électrolytes, tandis que les cellules intactes maintiennent leurs électrolytes symplastiques et par conséquent la libération des électrolytes est faible.

Au niveau des feuilles des deux variétés étudiées, l'effet du sel sur l'intégrité membranaire ne se manifeste qu'à partir des concentrations supérieures à 4,2g/l, notons qu'à cette dose, les taux de calcium des deux variétés diminuent légèrement mais significativement, ce qui montre qu'une diminution de la teneur en calcium (6,12% de réduction chez Tichedrett et 1,63% chez Saida) suite à l'application d'une concentration en NaCl équivalente à 4,2g/l n'a pas d'effet significatif sur l'intégrité membranaire de nos deux variétés.

A des niveaux de salinité plus élevés (7,2 et 12g/l), le sel entraîne une augmentation très hautement significative de la fuite relative d'ions pour les deux variétés atteignant respectivement 20% et 26,15% d'augmentation par rapport au témoin pour la variété Saida, 19,41% et 14,7% d'augmentation pour la variété Tichedrett.

L'augmentation de la fuite d'électrolytes est la conséquence d'une hausse de la diffusion passive à travers la couche phospholipidique membranaire lésée par le sel et/ou d'une inactivation des protéines participant au transport actif des ions.

Nos résultats sont en accord avec ceux d'Alem *et al.* (2001), et Huang *et al.* (2006) pour l'orge et de Shafqat et Farooque (2006) pour le blé, qui ont noté une diminution de la stabilité membranaire avec l'augmentation de l'intensité du stress imposé par les différentes

traitements salins. La diminution est faible pour les doses de sel modérées et elle est plus importante et plus générale avec les doses de salinité les plus sévères (sup à 250mM).

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

Mansour *et al.*, (1993), et Mansour et Stadelmann (1994) ont étudié la réponse de la membrane plasmique de cellules individuelles de génotypes d'orge en mesurant leur perméabilité. Les altérations de la perméabilité de la membrane plasmique qui ont été observées n'ont pas été accompagnées par une diminution de la croissance ou une chlorose sévère suggérant que ce test est un test sensible pour la tolérance à la salinité. De plus, aucun effet osmotique de la salinité n'a été noté, ce qui mène à dire que c'est essentiellement l'effet ionique qui est à l'origine des changements de la perméabilité membranaire (Mansour *et al.*, 1993 ; Mansour, 1997).

L'instabilité membranaire peut être due à une altération des lipides provoquée par des molécules actives d'oxygène. En effet, il est admis que le stress salin est accompagné d'un stress oxydatif qui augmente la production des radicaux libres provoquant, ainsi, une peroxydation des lipides membranaires (Smirnoff, 1993).

Un premier niveau d'adaptation des plantes à la salinité est l'ajustement osmotique. La plante peut ajuster son potentiel osmotique en l'abaissant et par conséquent elle diminue son potentiel hydrique foliaire et maintient la turgescence de ses cellules. La plante possède alors une faculté à conserver l'intégrité de ses structures membranaires et de son activité photosynthétique.

Pour nos deux variétés, la salinité a provoqué une diminution de la teneur en eau proportionnelle à l'importance de la contrainte saline pour les deux variétés étudiées, cependant, cette baisse n'est significative qu'au-delà de 4,2g/l pour la variété Tichedrett.

Wynjones et Storey, (1978) ; Hassani *et al.*, (2008) ont trouvé une diminution progressive pour tous les taux de salinité utilisés, Boursier *et al.*, (1987) ; Eleuch *et al.*, (2004) ne l'ont observée qu'après 3,2g/l de NaCl. Delane *et al.*, (1982) et Touraine et Ammar (1985) n'ont de leur côté noté aucun changement significatif pour le contenu en eau des tissus foliaires des plants d'orges soumis à des concentrations de 0 et 11,5g/l de NaCl pour les premiers et de 0 à 4,5 g/l de NaCl pour les deuxième.

Pour la présente étude, le contenu en eau n'a pas diminué beaucoup, il reste compris entre 92,2% pour les plantes témoins et 85,79% pour les plantes soumises à 12g/l de sel pour la variété Saida et entre 91,83% et 84,62% pour la variété Tichedrett. Ce qui révèle la capacité de nos deux variétés à maintenir une teneur en eau plus ou moins stable même si elle diminue légèrement mais significativement.

Face à la réduction de la disponibilité en eau, les plantes accumulent certains solutés tels que la proline, la glycinebétaine et les sucres solubles pour ajuster leur potentiel osmotique interne.

Les deux variétés, Saida et Tichedrett réagissent en moyenne par une accumulation plus ou moins importante de la proline. Cette réaction se maintient et s'amplifie avec l'intensité de la contrainte saline. Tichedrett accumule en moyenne plus de proline (3,83 mg/g de MVS) que Saida (3,575 mg/g de MVS). Cependant, c'est Saida qui présente plus de proline que Tichedrett sur milieu témoin.

L'accumulation de ces solutés permet aux plantes de supporter le manque d'eau, en maintenant leur turgescence relative foliaire la moins perturbée que possible et leur intégrité cellulaire préservée. En dehors de l'objectif de l'osmorégulation, les solutés organiques peuvent s'accumuler pour protéger le métabolisme des cellules contre les effets toxiques des ions accumulés, une concentration en proline de 600 mM n'inhibe pas l'activité enzymatique de l'orge *in vitro* (Lone *et al.* 1987).

En plus, Les solutés compatibles sont de puissants régulateurs de la perméabilité des canaux ioniques à K^+ de la membrane plasmique des cellules de l'épiderme racinaire de l'orge (Cuin et Shabala, 2007). Des concentrations physiologiquement pertinentes en solutés compatibles tels que le glycinebetaine, la proline et le mannitol ou le myo-inositol (polyols) pourraient contribuer à des réponses adaptatives de l'orge à la salinité en régulant le transport du K^+ à travers la membrane plasmique, permettant ainsi le maintien d'un ratio K^+/Na^+ optimal, qui est une des caractéristiques les plus importante de la tolérance de l'orge à la salinité (Cuin et Shabala, 2005 ; Shabala et Cuin, 2008).

Le rôle attribué à la proline dans la réponse de l'orge à la salinité reste toutefois controversé. Selon certains auteurs, l'accumulation de la proline n'est pas une réaction d'adaptation au stress (Chandra et Chauhan, 1983 ; Chen *et al.*, 2007c ; Widodo *et al.*, 2009) mais plutôt un signe de susceptibilité (Huang *et al.*, 2006).

L'ajustement osmotique peut entraîner des pénalités en termes d'allocation de carbone pour la phase de croissance rapide des plantes à croissance rapide telles que le blé et l'orge (Munns, 1988). La synthèse des solutés compatibles nécessite un coût énergétique et implique donc une pénalité en terme de croissance potentielle (Munns, 2005; Munns et Tester, 2008).

Chez les plantes stressées, l'accumulation de la proline est due à la fois à l'activation de sa biosynthèse et à l'inactivation de sa dégradation. Pour Quien *et al.* (2001), l'accumulation de la proline contribue à l'acquisition de la résistance au stress grâce au maintien de la turgescence cellulaire chez de nombreuses espèces, créé par l'ajustement osmotique dont la proline est responsable.

Plusieurs études ont confirmé que la teneur de la proline chez les plantes résistantes au stress est supérieure à celles des plantes sensibles (Ashraf et Foolad, 2007). Sa variation quantitative est fonction de l'organe (feuille, racine, tige), de la nature et de l'intensité du stress. Elle dépend aussi de l'âge de la plante et de la position des feuilles (Djerrodi *et al.*, 2010). Handa *et al.*, (1986), suggèrent que le niveau d'accumulation de proline ne dépend pas uniquement du potentiel osmotique de la plante ou de sa perte de turgescence, mais dépend aussi de son niveau d'adaptation au stress.

Une corrélation positive a été établie entre la proline et l'élongation cellulaire. Cette relation peut être expliquée en termes de biosynthèse de protéines comme l'hydroxyproline-richglycoproteins (HRGP_S), un des constituants structuraux les plus importants de la paroi de la cellule végétale, qui semble jouer un rôle clé dans le règlement de la division cellulaire, dans l'assemblage des constituants de la paroi cellulaire et l'extension des cellules (Snowalter 1993 ; Majewska-Sawka, 2000).

En conclusion, l'accumulation de la proline de cultivars contrastant dans leur tolérance au stress n'est pas universelle et couvre un large éventail de réponses. Enfin, nous retenons que nos deux variétés présentent des capacités de synthèse et d'accumulation de la proline, ce qui permet de retenir que cet acide aminé peut être l'une des composantes de l'adaptation métabolique de ce matériel végétal à la salinité.

Nos résultats ont également montré qu'à faible taux de sel (4,2g/l), la salinité entraîne une légère diminution (significative) de la teneur en sucres solubles des feuilles des deux variétés étudiées, cette baisse est suivie par une augmentation de la teneur en sucres solubles pour les deux variétés sous 7,2g/l de NaCl (4,18% d'augmentation pour Tichedrett et 22,06% pour Saida). A 12g/l, une chute très hautement significative de la teneur en sucres solubles est par contre enregistrée pour les deux variétés (23,78 % de chute pour Tichedrett et 20,86% pour Saida).

Le processus de concentration des sucres solubles dans les tissus foliaires des plantes stressées est une importante caractéristique d'adaptation des plantes au stress salin, surtout pour les espèces monocotylédones y compris l'orge (Bohnert *et al.*, 1995 ; Bagheri et Sadeghipour, 2009). C'est une composante importante de l'ajustement osmotique observée chez l'orge et de nombreuses espèces cultivées.

L'accumulation des sucres peut être associée à une diminution de l'activité puit qui se traduit par une diminution de l'exportation de saccharose et ainsi son accumulation dans les cellules de la feuille engendrant ainsi est une inhibition de la photosynthèse.

L'activité puit serait le régulateur de la photosynthèse : lorsque la production d'assimilats dépasse la demande par les puits, des gènes codant pour les enzymes de la photosynthèse seraient réprimés. Ainsi, la balance entre l'activité source et l'activité puit (relation sources-puits) serait maintenue.

L'accumulation des sucres est corrélée avec la tolérance à la salinité pour différents géotypes d'orge de tolérance contrastant (Chen *et al.*, 2007a, b ; Widodo *et al.*, 2009). Cependant, la réduction de la teneur en sucres solubles aux forts taux de salinité (12g/l) observée pour les deux variétés étudiées peut être attribuée au moins en partie à la diminution de l'activité photosynthétique. Celle-ci serait vraisemblablement affectée suite à la baisse de la quantité des pigments photosynthétiques, à la réduction de la surface des feuilles ainsi qu'à la fermeture des stomates et à l'altération des activités enzymatiques se rapportant à l'assimilation du carbone (Wilson *et al.*, 2006).

La quantité de pigments foliaires et en particulier des chlorophylles peut être influencée par beaucoup de facteurs liés à la plante (âge des feuilles et position des feuilles) et des facteurs environnementaux (lumière, température, sel et disponibilité en eau) (Hikosaka *et al.*, 2006).

Les résultats concernant les variations des teneurs en pigments photosynthétiques ont montré une augmentation des teneurs en chlorophylles totales et en caroténoïdes pour les deux cultivars soumis aux deux premières doses de sel (4,2 et 7,2g/l) suivie d'une baisse des teneurs en chlorophylles totales et en caroténoïdes sous l'effet de la dernière (12g/l) dose de sel.

Khosravinéjad *et al.*, (2008), ont trouvé une diminution de la teneur en chlorophylles totales accompagnée d'une accumulation des caroténoïdes pour toutes les doses de sel utilisées, Huang *et al.* (2006) ne l'ont trouvé qu'après 7g/l de NaCl. Morales *et al.*, (1992) n'ont de leur côté noté aucun changement significatif des teneurs en chlorophylles totales ou en caroténoïdes.

L'augmentation des teneurs en chlorophylles totales pourrait s'expliquer par la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet du stress ce qui engendre une plus grande concentration. La diminution de la teneur en chlorophylles sous l'effet des doses élevées de

sel peut être due aux dommages causés par les formes actives d'oxygène au niveau du chloroplaste. Une perte de chlorophylle pourrait ainsi être le signe d'un stress photo-oxydatif, ou plus probablement d'un mécanisme d'acclimatation (adaptation) de la machinerie photosynthétique (Smirnoff 1995).

Les variations de la quantité et de la proportion des pigments photosynthétiques peuvent ainsi constituer un indicateur de tolérance, qui est facilement mesurable, mais il y a un problème d'attribution de cause. Une diminution de la chlorophylle pourrait être attribuée à la diminution de la tolérance des tissus face à des concentrations élevées en Na^+ , ou à la sénescence prématurée provoquée par des signaux à partir des racines (Munns, 2011).

Des différences génotypiques pour ce caractère peuvent certes exister, mais il est difficile de les mesurer. Une relation pourrait avoir lieu entre la concentration en Na^+ pour laquelle une feuille meurt, ou perd 50% de sa teneur en chlorophylle, mais, cette relation quantitative différencierait selon l'âge des feuilles. Cela signifie que faire le lien entre l'augmentation de la concentration en Na^+ et la diminution de la chlorophylle n'est pas toujours concluant (Munns, 2011). La chlorophylle serait ainsi en perpétuel équilibre entre synthèse et dégradation (Jacob-Wilk *et al.*, 1999). Réguler sa concentration, *via* la balance dégradation/synthèse, pourrait alors être un moyen pour les plantes de se protéger lors d'un stress.

Conclusion

Conclusion

Cette étude expérimentale a été entreprise dans le but d'étudier la tolérance de deux variétés d'orge algériennes à la salinité, et d'identifier d'éventuels critères agrophysiologiques d'évaluation du degré de tolérance de ces deux cultivars à la salinité. Les résultats obtenus nous permettent de tirer les conclusions suivantes.

L'influence de la salinité dans le milieu se traduit par une diminution de la croissance et du rendement des deux variétés qui est d'autant plus importante que l'intensité du stress est plus accentuée, surtout aux doses de sel les plus élevées (7,2 et 12 g/l). Nos résultats ont montré que les deux cultivars présentent un comportement similaire (pas de différence significative) pour les caractères : masse sèche de la partie aérienne, surface foliaire et nombre de talles. Cependant, la variété Saida produit plus de grains et développe un système racinaire plus important (elle produit plus de matière sèche racinaire) que la variété Tichedrett aussi bien en milieu témoin qu'en conditions de contrainte saline.

Prenant en considération les chutes de rendement susceptibles d'être provoquées par les différentes doses de sel utilisées, les deux variétés sont supérieures à la moyenne et présentent donc des potentialités intéressantes pour leurs rendements en grain en milieu salin.

Les niveaux de stress salin appliqués ont induit une augmentation importante de la teneur en Na^+ et une diminution des teneurs en K^+ des feuilles des deux variétés. Les résultats obtenus montrent que c'est la variété Saida qui accumule le moins de sodium et qui perd le moins de potassium ce qui révèle sa supériorité par rapport à Tichedrett pour ces deux paramètres. Toutefois sous l'effet de la contrainte saline, les deux variétés présentent la capacité de maintenir un taux plus ou moins stable en K^+ vis-à-vis des différentes doses de sel appliquées, ce qui est un caractère déterminant pour la tolérance à la salinité.

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

Pour contrecarrer la diminution de la teneur en eau, les plantes synthétisent des solutés organiques compatibles qui ont la capacité d'augmenter la pression osmotique interne. Les deux variétés, réagissent en moyenne par une augmentation similaire de la teneur en proline. Cette réaction s'amplifie avec l'intensité de la contrainte saline.

L'accumulation des sucres solubles est une autre composante essentielle de l'ajustement osmotique de l'orge et de nombreuses espèces cultivées. Une augmentation de la teneur en sucres solubles a été notée pour les deux variétés sous 7,2g/l de NaCl. Cependant à 12g/l, une chute très hautement significative de la teneur en sucres solubles est enregistrée pour les deux variétés ; ceci pourrait être attribué aux changements de l'état hydrique des feuilles ainsi qu'à la forte réduction de la surface foliaire et de la teneur en pigments photosynthétiques.

Au niveau membranaire, l'effet du sel sur l'intégrité membranaire ne se manifeste qu'à partir des concentrations salines supérieures à 4,2g/l, concentrations pour lesquelles il est observé une augmentation très hautement significative de la fuite relative d'ions pour les deux variétés. Ces changements dans la perméabilité membranaire seraient dûs à l'effet ionique: en effet, à ces niveaux de salinité supérieurs le taux de calcium des tissus diminue et le taux de sodium augmente ce qui engendre une fragilisation des membranes qui deviennent plus perméables.

A l'issue du travail réalisé sur les deux variétés d'orge, nous pouvons conclure que sur la base de certains critères physiologiques et métaboliques (Rendement en grains, masse sèche racinaire, taux de sodium accumulé et taux de potassium perdu), la variété Saida semble mieux supporter la contrainte saline que la variété Tichedrett. Cependant, il est difficile de définir avec certitude des critères pertinents de tolérance vu que la capacité des plantes à survivre et à se développer en situation de stress abiotique est un caractère complexe et polygénique, ayant pour origine de nombreux processus agissant de façon additive et synergique.

Pour une meilleure appréciation de ce travail, il serait intéressant de le compléter et de l'enrichir par :

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

Références bibliographiques

- Abrol I.P., Yadav G.S.P. et Massoud F.I. (1988):** Salt-affected soils and their management. Food and Agriculture Organisation of The United Nations. Paper n° 39.Rome.131p.
- Agastian P., Kingsley S. J. et Vivekanandan M. (2000):** Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica*, 38:287-290.
- A.G.I.D. (2003):** Agence Nationale de Réalisation et de Gestion des Infrastructures Hydrauliques pour l'Irrigation et le Drainage. Situation actuelle des grands périmètres irrigués et perspectives.
- Al-Khafaf, S., Adnan, A. et Al-Asadi. N.M. (1990):** Dynamics of root and shoot growth of Barley under various levels of salinity and water stress. *Agricultural Water Management*, 18(1):63–76.
- Alem C., Idihia F., Amri A. et Filali Maltouf A. (2001):** rôle de la stabilité membranaire foliaire dans la tolérance à la salinité chez L'orge. *Elawamia*, 103: 9-22.
- Allal D., Barhoumi Z., Slama I. et Abdelly C. (2008):**Variability of Morpho-physiological response of North-African barley accessions to NaCl salinity. NEPAD Biotechnologies Workshop, 28-30 November 2008, Ezzahra, Tunisia. 73p.
- Al-Tahir O.A., Al-Nabulsi Y.A. et Helalia A.M. (1997):** Effects of water quality and frequency of irrigation on growth and yield of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Agricultural Water Management*, 34:17–24.
- Amtmann A. et Sanders D. (1999):** Mechanisms of Na⁺ uptake by plant cells. *Advances in Botanical Research* 29, 76–112.
- Apel K. et Hirt H. (2004):** Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55:373–99.
- Aquastat. (2005) :** Système d'information de la FAO sur l'eau et l'agriculture :Gestion de l'eau en Algérie. Food and Alimentation Organization. pp. 83-93.
- Arnon D.T. (1949):** Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*24, 1-15.
- Ashraf M. (1994):** Breeding for salinity tolerance in plants. – *Crit. Rev. Plant Sci.* 13: 17– 42.
- Ashraf M. (2002):** Evaluation of genetic variation for improvement of salt tolerance in spring wheat. In: Ahmed R.et Malik K.A. (Ed), prospects for saline Agriculture, Kluwer Academic Publisher, Netherlands, pp. 131-137.
- Ashraf M. et Foolad M.R. (2007):** Roles of glycinebetaine and proline in improving plant abiotic stress tolerance. *Environmental and Experimental Botany.* 59: 206-216.
- Ayers R.S. et Westcot D.W. (1985):** Water quality for agriculture. Irrigation and drainage. Food and Alimentation Organization .Paper 29, (rev.1), 174p.

- Ayers A.D., Brown, J.W. et Wadleigh C.H. (1952):** Salt tolerance of barley and wheat in soil plots receiving several salinization regimes. *Agronomy Journal*, 44:307–310.
- Bagheri A. et Sadeghipour O. (2009):** Effect of salt stress on yield, yield components and carbohydrates content in four Hullers barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *Journal of Biological Science*, 9(8): 909-912.
- Bhini H., Bennaceur M., Sayar R., Khemira H. et Ben Kaab-BettaeibL.(2010):** Genotypic differences in root and shoot growth of barley (*Hordeum vulgare*) grown under different salinity levels. *Hereditas*, 147: 114-122.
- Bechtold U., Richard O., Zamboni A., Gapper C., Geisler M., Pogson B., Karpinski S. et Mullineaux P.M. (2008):** Impact of chloroplastic- and extracellular-sourced ROS on high light-responsive gene expression in Arabidopsis. *Journal of Experimental Bototany*. 59:121–133.
- Benes S.E., Araguès R. Austin R.B. Grattan S.R. (1996):** Brief pre-and-post irrigation sprinkling with fresh water reduces foliar salt uptake in Maize and Barley irrigated with saline water. *Plant and Soil*. 180: 87-95.
- Bittisnich D., Robinson D. et Whitecross M. (1989):** Membrane-associated and intracellular free calcium levels in root cells under NaCl stress, in J. Dainty, M. I. de Michelis, E. Marré and F. Rasi-Caldogno, (eds.), *Plant Membrane Transport: The Current Position. Proceedings of the Eighth International Workshop on Plant Membrane Transport, Venice, Italy, 25-30 June 1989*, Elsevier Science Publishing Company, Inc., New York, pp. 681-682.
- Bohnert H.J., Nelson D.E. et Jensen R.G. (1995):** Adaptations to environmental stresses. *Plant Cell*, 7:1099–1111.
- Bole J.B. et Wells S.A. (1979):** Dryland soil salinity: effect on the yield and yield components of 6row barley, 2row barley, wheat and oats. *Canadian journal of soil science*, 59: 11-17.
- Boursier P., Lynch J., Lauchli A. et Epstein E. (1987):** Chloride partitioning in leaves of salt stressed Sorghum, Maize, Wheat and Barley. *Australian Journal of Plant Physiology*, 14: 463-473.
- Bonjean A. et Picard E. (1990):** Les céréales à paille : origine, histoire, économie, sélection. Softword – Groupe ITM, Paris, 208 p.
- Boursier P. et Läuchli A. (1989):** Mechanisms of chloride partitioning in the leaves of salt-stressed Sorghum bicolor L. *PhysiologiaPlantarum* 77, 537–544.
- Boursier P., Lynch J., Läuchli A. et Epstein E. (1987):** Chloride partitioning in leaves of salt-stressed sorghum, maize, wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 14, 463–473.
- Bray E.A., Bailey-Serres J. et Weretilnyk E. (2000):** Responses to abiotic stresses. *In W* Gruissem, B Buchanan, R Jones, eds, *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Physiologists, Rockville, MD, pp 1158–1249.

- Brown D.J. et Dupon F.M. (1989):** Lipid composition of plasma membranes prepared from roots of barley (*Hordeum vulgare* L.). Effect of salt. *Plant physiology*, 90: 955-961.
- Bush, D. S. (1995):** Calcium regulation in plant cells and its role in signaling. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol.* 46: 95-122.
- Carden D. E., Walker D. J., Flowers T. J. et Miller A. J. (2003):** Single cell measurement of the contributions of cytosolic Na⁺ and K⁺ to salt tolerance. – *Plant Physiol.* **131**: 676– 683.
- Ceccarelli S., Grando S. et Van Leur J.A. (1995):** Barley landraces of the Fertile Crescent offer new breeding options for stress environments. *Diversity* 11, 112–113.
- Chaabane S. et Benreda Z. (1997):** inventaires des sols salés d’Algérie. ANRH Pédologie. 22p.
- Chandra, S. et Chauhan R.S. (1983):** Free proline in barley, pearl millet and chickpea grown under soil salinity stress. *Indian Journal of Genetics*, 43:457.
- Chapman H. D. et Pratt P. F. (1961):** Methods of analysis for soils, plants and waters. Div. Agr. Sci. Univ. Calif., Riverside, Calif.
- Cherbuy B. (1991):** Les sols salés et leur réhabilitation. Ecole Nationale Supérieure d’Agronomie., Agrocontact, Rennes, 90p.
- Colmer T.D., Munns R. et Flowers T.J. (2005):** Improving salt tolerance of wheat and barley: future prospects. *Aust. J. Exp. Agric.* 45:1425–43.
- Cramer G. R. (2002):** Sodium-calcium interactions under salinity stress, in Läuchli, M., Lüttge, U.: *Salinity: Environment-Plants-Molecules*. Kluwer Academic Publishers, London, pp. 205–228.
- Cramer G.R., Albrico G.J. et Schmidt C. (1994):** Leaf expansion limits dry matter accumulation of leaf salt stressed maize. *Australian journal of plant physiology*. **21**: 663-674.
- Cramer, G.R., Epstein, E. et Lauchli, A. (1990):** Effect of sodium, potassium and calcium on salt stressed barley. I. Growth analysis. *Physiologia Plantarum*, 80: 83-88.
- Cramer, G.R., Epstein, E. et Lauchli, A. (1989):** Na-Ca interactions in barley seedlings: relationship to ion transport and growth. *Plant Cell Environment*, 12:551–558.
- Cuin T. A. et Shabala S. (2007):** Amino acids regulate salinity-induced potassium efflux in barley root epidermis. *Planta* 225, 753–761.
- Cuin T. A. et Shabala S. (2005):** Exogenously supplied compatible solutes rapidly ameliorate NaCl-induced potassium efflux from barley roots. *Plant and Cell Physiology*, 46: 1924–1933.

- Cuin T.A., Miller A.J., Laurie S.A. et Leigh R.A. (2003):** potassium activities in cell compartments of salt grown barley leaves. *Journal of Experimental Botany*, 54: 657-661
- Chen Z.H., Shabala S., Mendham N., Newman I., Zhang G.P. et Zhou M.X. (2008):** Combining ability of salinity tolerance on the basis of NaCl-induced K flux from roots of barley. *Crop Science*, 48: 1382–1388.
- Chen Z.H., Zhou M.X., Newman I.A., Mendham N.J., Zhang G.P. et Shabala S. (2007a):** Potassium and sodium relations in salinised barley tissues as a basis of differential salt tolerance. *Functional Plant Biology*, 34: 150–162.
- Chen Z.H., Pottosin I.I., Cuin, T.A. et al. (2007b):** Root plasma membrane transporters controlling K/Na homeostasis in salt stressed barley. *Plant Physiology*, 145: 1714–1725.
- Chen, Z. H., Cuin T.A., Zhou M., Twomey A., Bodapati T., Naidu B.P. et Shabala S. (2007c):** Compatible solute accumulation and stress-mitigating effects in barley genotypes contrasting in their salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 58(15–16): 4245–4255.
- Chen Z., Newman I., Zhou M., Mendham N., Zhang G. et Shabala S. (2005):** Screening plants for salt tolerance by measuring K flux: a case study for barley. *Plant Cell and Environment*, 28: 1230–1246.
- Chinnusamy V. et Zhu J.K. (2003):** Plant responses to abiotic stress. *Topics in current genetics*. Vol. 4. Sous la direction de H. Hirt et K. Shinozaki. Springer-Verlag, Berlin. p. 242–271.
- Chinnusamy V., Jagendorf A. et Zhu J.K. (2005):** Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci.* 45(2): 437–448.
- Daoud Y. (1983):** Contribution à l'étude de la dynamique des sels dans un sol irrigué du périmètre de Haut Cheliff (Algérie). Thèse doc. ING., RENNE, 194p.
- Daoud Y., Cheverry C. et Robert M. (1993):** Rôle physico-chimique du magnésium dans les sols salés des plaines du Cheliff (Algérie). *Sci. Sol.* Vol – 31, n 4, pp. 151 – 160.
- Daoud Y. et Halitim A. (1994):** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Sècheresse*, vol. 31, 4, pp. 281-299.
- Davenport R. J., Reid R. J. et Smith F. A. (1997):** Sodium calcium interactions in two wheat species differing in salinity tolerance. *Physiol. Plant.* **99**: 323– 327.
- Delane R., Greenway H., Munns R. et Gibbs J. (1982):** Ion concentration and carbohydrate status of elongating leaf tissue of *Hordeum vulgare* growing at high external NaCl. I. Relationship between solute concentration and Growth. *Journal of Experimental Botany*, 33:574–583.
- Djerroudi –Zidane O., Belkhodja M., Bissati S. et Hadjadj S. (2010) :** Effet du stress salin sur l'accumulation de Proline chez deux espèces d'*Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens*. *European Journal of Scientific Research*. Vol.41 No. 2, pp.249-260.

Djili K. (2000): Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie : Création d'une banque de données informatisées et utilisation d'un système d'information géographique pour la spatialisation et la vectorisation des données pédologiques. Thèse doc. INA. Alger. 384p.

Djili K., Daoud Y., Gaouar A. et Beldjoudi Z. (2003): La salinisation secondaire des sols du Sahara. Sécheresse, vol. 14, 4, pp. 241-246.

Douaoui A. (2005): Variabilité spatiale de la salinité et relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du bas Chélif approche de la géostatistique et de la télédétection. Thèse de doctorat d'état en agronomie, INA, Alger. 255 p.

Durand J.H. (1954): Les sols d'Algérie (Pédologie n 2). Dir. Hyd. Alger., 244p.

Eheret D.L., Redmann R.E., Harvey B.L. et Cipywnyk A. (1990): Salinity-induced calcium deficiencies in wheat and barley. Plant and Soil, 128: 143-151.

Eleuch L., Slim A.H. et Daaloul A. (2004): comportement variétal de deux géotypes d'orge d'origine maghrébine cultivée sur milieu salin. Revue des Régions Arides, numéro spécial. 200-209.

F.A.O. (2008): FAO Land and Plant Nutrition Management Service. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>.

Favier A., (2003) : Le stress oxydant Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. L'actualité chimique - novembre-décembre, 108-115.

Flowers T.J., Hajibagheri M.A. et Yeo A.R. (1991): Ion accumulation in the cells walls of rice plants growing under saline conditions: evidence for the Oertli hypothesis. Plant, Cell and Environment 14, 319–325.

Fricke W., Akhiyarova G., Veselov D. et Kudoyarova G. (2004): Rapid and tissue-specific changes in ABA and in growth rate response to salinity in barley leaves. J. Exp. Bot. 55:1115–23.

Fricke W., Akhiyarova G., Wei W., Alexandersson E., Miller A. et al., (2006): The short-term growth response to salt of the developing barley leaf. J. Exp. Bot. 57:1079–95.

Gorham J. (1993): Genetics and physiology of enhanced K/Na discrimination. In 'Genetic aspects of plant mineral nutrition'. (Eds PJ Randall, E Delhaize, RA Richards, R Munns) pp. 151–158. (Kluwer Academic Publishers: Dordrecht).

Gorham J., Wyn Jones R.G. et Bristol A. (1991): Partial characterization of the trait for enhanced K⁺-Na⁺ discrimination in the D genome of wheat. Planta. 180, 590–597.

Gorham J., Bristol A., Young E.M., Wyn Jones R.G. et Kashour G. (1990): Salt tolerance in the Triticeae: K/Na Discrimination in barley. Journal of Experimental Botany, 41: 1095-1101.

- Greenway H. et Munns R. (1980):** Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31:149–190.
- Greenway H. (1962):** Plant response to saline substrates. I. Growth and ion uptake of several varieties of *Hordeum vulgare*. *Aust. J. Biol. Sci.* 15: 16–39.
- Grieve C.M., Francois L.E. et Maas E.V. (1994):** Salinity affects the timing of phasic development in spring wheat. *Crop Sci.* 34:1544-1549.
- Grieve C.M., Lesch S.M, Maas E.V. et Francois L.E. (1993):** Leaf and spikelet primordia initiation in salt stressed wheat, *Crop Sci.* 33: 1286-1294.
- Grieve C. M. et Maas E. V. (1988):** Differential effects of sodium/calcium ratio on sorghum genotypes, *Crop Sci.* 28: 659-665.
- Guo P., Baum M., Grando S., Salvatore C., Guihua B., Li R., Maria V. K., Varshney R. K., Andreas G. Valkoun J. et al. (2009):** Differentially expressed genes between drought-tolerant and drought-sensitive barley genotypes in response to drought stress during the reproductive stage. *Journal of Experimental Botany* 60(12): 3531–3544.
- Hadj Miloud S. (2010):** morphologie et propriétés des solonchaks références de la mina. Mémoire de Magister en agronomie, ENSA, Alger. 134 p.
- Hakimi M. (1989):** L'évolution de la culture d'orge: Le Calendrier Climatique Traditionnel et les Données Agrométéorologiques Modernes. In: *The Agrometeorology of Rainfed Barley-based Farming Systems*. Proc. Symp. WMO.
- Halitim A. (1973) :** Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse Doct. 3ème cycle. Univ de Renne. 171p
- Hamdy A., Lasram M. et Lacirignola C. (1995):** les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne. *Compte rendu de l'Académie d'agriculture de France. Action eau N° 04 (1995) Rev. Bimestrielle, Vol 81 (2):42-46.*
- Hanana M., Hamrouni L., Cagnac O. et Blumwald E. (2011) :** Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Dossiers environ.* 19 : 121–140.
- Handa S., Handa A.K., Hasegawa P.M. et Bressan R.A. (1986):** Proline accumulation and the adaptation of cultured plant cells to water stress. *Plant Physiology.* 80: 938-945.
- Hanson, J. B. (1984):** The function of calcium in plant nutrition, in P. B. Tinker and A. Läuchli, (eds.), *Advances in Plant Nutrition*, Praeger, New York, pp. 149-208.
- Hare P.D. et Cress W.A. (1997):** Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulation* 21: 79–102.
- Hassani A., Dellal A., Belkhodja M. et Kaid-Harche M. (2008):** Effet de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum Vulgare L.*). *European Journal of Scientific Research*, 23(1): 61-69.

- Hesegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K. et Bohnert H.J. (2000):** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51:463–99.
- Hikosaka K., Ishikawa K., Borjigidai A., Muller O. et Onoda. Y. (2006):** Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rates. *J. Exp. Bot.* 57:291–302.
- Hollington P.A., Akhtar J., Aragues R., Hussain Z., Mahar A.R., Quarrie S.A., Qureshi R.H., Royo A. et Saqib M. (2002):** Recent advances in the development of salinity and waterlogging tolerant bread wheats. In 'Prospects for saline agriculture'. (Eds R Ahmad, KA Malik) pp. 83–99. (Kluwer Academic Publishers: Dordrecht).
- Hong Z., Lakkineni K., Zhang Z. et Verma D.P.S. (2000):** Removal of feedback inhibition of Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. *Plant Physiol* 122: 1129–1136.
- Hopkins W. G. et Évrard C. M. (2003) :** Physiologie végétale. De Boeck Supérieur, Bruxelles, Belgique. 532 pages.
- Hu Y. et Schmidhalter U. (2004):** limitation of salt stress to plant growth. In: *Plant toxicology*. Hock, Elstner (Eds.). Marcel Dekker, New York, pp. 149-181.
- Huang Y., Zhang G., Wu F., Chen J. et Zhou M. (2006):** Differences in physiological traits among salt-stressed barley genotypes. *Communication in soil science and plant analysis*, 37: 557-570.
- Hussain G., Al-Jaloud A.A., Al-Shammary S.A., Karimulla S. et Al-Aswad S.O. (1997):** Effect of saline irrigation on germination and growth parameters of barley (*Hordeum vulgare* L.) in a pot experiment. *Agricultural Water Management*, 34: 125-135.
- INSID (2008) :** Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage. Les sols salins en Algérie. 7p.
- ITGC (2001) :** Institut Technique des Grandes Cultures. Principales variétés de céréales cultivées en Algérie. 114p.
- Jacob-Wilk D., Holland D., Goldschmidt E. E., Riov J., et Eyal Y. (1999):** Chlorophyll breakdown by chlorophyllase: isolation and functional expression of the Chlase1 gene from ethylene-treated Citrus fruit and its regulation during development. *Plant Journal*. 20, 653-661.
- Janzen H.H. et Chang C. (1987):** Cation nutrition of barley as influenced by soil solution composition in a saline soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 67:619–629.
- Jaradat A.A. Shahid M. et Al-Maskri A. (2004):** Genetic diversity in the batini barley landraces from Oman: II. Response to salinity stress. *Crop Science*, 44: 997-1007.

- Jeschke W.D. et Wolf O. (1985):** Na⁺-dependent net K⁺ retranslocation in leaves of *Hordeum vulgare*, cv California Mariouitt and *Hordeum distichon*, cv Villa under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 121: 211-223.
- Jiang Q., Roche D., Monaco T.A. et Durham S. (2006):** Gas exchange, Chlorophyll fluorescence and carbon isotope discrimination of 14 Barley genetic lines in response to salinity. *Field Crops Research*, 96: 269-278.
- Katerji N., Vanhoorn J.W., Hamdy A., Mastrorilli.M., Fares C., Relli S.C., Grando S. et Owers T. (2006):** Classification and salt tolerance analysis of barley varieties. *Agricultural water management*. 85: 1-9.
- Kearney T.H. et Harter L.L. (1907):** The comparative tolerance of various plants for the salts common in alkali soils. *U.S.D.A Plant industry bulletin*, 113:7–22.
- Khatun S., Rizzo C.A., et Flowers T.J. (1995):** Genotypic variation in the effect of salinity on fertility in rice. *Plant and Soil*, 173: 239-250.
- Khosravinejad F., Heydari R. et Farboodnia T. (2008):** Effects of salinity on photosynthetic pigments, respiration and water content in two barley varieties. *Pakistan Journal of Biological Science*, 11(20): 2438-2442
- Koch K.E. (1996):** Carbohydrate-modulated gene expression in plants, *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 47: 509-540
- Kopittke P.M. et Menzies N.W. (2004):** Effect of pH on Na induced calcium deficiency. *Plant and Soil*, 269:119–129.
- Kuiper D., Schuit J. et Kuiper P.J.C. (1990):** Actual cytokinin concentrations in plant tissue as an indicator of salt resistance in cereals. *Plant and Soil*, 123:243–250.
- LaHaye P.A. et Epstein E. (1969):** Salt toleration by plants: enhancement with calcium, *Science*, 166: 395-396.
- Läuchli A. et Epstein E. (1990):** Plant responses to saline and sodic conditions, pp. 113-137. In: *Agricultural Salinity Assessment and Management*, K.K. Tanji, Editor. American Society of Civil Engineers., New York.
- Lazof D.B. et Bernstein N. (1999):** The NaCl induced inhibition of shoot growth: the case for disturbed nutrition with special consideration of calcium. In: Callow JA, ed. *Advances in botanical research*. 29:113–189. London, UK: Academic Press.
- Lazof D.B. et Läuchli. A. (1991):** The nutritional status of the apical meristem of *Lactuca sativa* as affected by NaCl salinization: an electron-probe microanalytic study. *Planta*, 184:334–342.
- Leigh R.A. et Wyn Jones R.G. (1984):** A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytologist*, 97:1–13.

- Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P. et Casse- Delbart F. (1995):** Les plantes face au stress salin. Cahier Agriculture, 4, 263-273.
- Lichtenthaler H.K. (1987):** chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in enzymology. 148: 350-382.
- Lynch J., Thiel G. et Läuchli A. (1988):** Effects of salinity on the extensibility and Ca availability in the expanding region of growing barley leaves. Botanica Acta, 101:355–361.
- Lynch J. et Läuchli A. (1985):** Salt stress disturbs the calcium nutrition of barley (*Hordeum vulgare* L.). New Phytologists. 99:345–354.
- Logan B.A. (2005):** Reactive oxygen species and photosynthesis. In Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants, ed. N. Smirnov, pp. 250–67. Oxford: Blackwell.
- Lone J.S.H., Kuch R.G., Wyn Jones G. et S.W.J. Bright (1987):** Influence of proline and glycinebetaine on salt tolerance of cultured embryos. Journal of Experimental Botany 38:479–490.
- Lozet J. et Mathieu C. (1990):** Dictionnaire de science du sol. Ed technique de document. Lavoisier. 384p.
- Maas E.V. et Grieve C.M. (1994):** Salt tolerance of plants at different stages of growth. Proceedings of an International Conference on Current Developments of Salinity and Drought Tolerance of Plants, January 7–11, 1990, Tando Jam, Pakistan, 181–197.
- Maas E. V. (1993):** Testing Crops for Salinity Tolerance. In: Proc. Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stresses. Maranville J.W., Baligar B.V., Duncan R.R. et Yohe J.M. (eds.), 234-247.
- Maas E.V. et Poss, J.A. (1989):** Salt sensitivity of wheat at various growth stages. Irrigation Science, 10:29–40.
- Maas E.V. et Grieve C.M. (1987):** Sodium-induced calcium deficiency in salt-stressed corn. Plant Cell and Environment, 10: 559-564.
- Maas E.V. (1986):** Salt tolerance of plants. Applied Agricultural Research, 1, 12-26.
- Maas E.V. et Hoffman G.J. (1977):** Crop salt tolerance-current Assessment. Am. Soc. Civ. Eng. J. Irrig. Drain. Div. **103**: 115-134.
- Maathuis F.J.M. et Amtmann A. (1999):** K⁺ nutrition and Na⁺ toxicity: the basis of cellular K⁺/Na⁺ ratios. Annals of Botany, 84: 123–133.
- M.A.D.R. (2006):** Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Annuaire statistiques, Série B.
- Magné C. et Larher F. (1992):** High sugar content of extracts interferes with colorimetric determination of amino acid and free proline. Anal.Biochem. 200: 115-118.

- Mahar A.R., Hollington P.A., Virk D.S. et Witcombe J.R. (2003):** Selection for early heading and salt-tolerance in bread wheat. *Cereal Research Communications* **31**, 81–88.
- Mahajan S., Pandey G.K., et Tuteja N. (2008):** Calcium- and saltstress signaling in plants: Shedding light on SOS pathway. *Arch. Biochem. Biophys.* **471**(2): 146–158.
- Majewska-Sawka A. et Nothnagel E.A. (2000):** The multiple roles of arabino galactan proteins in plant development. *Plant Physiol* **122**: 3–9.
- Mansour M.M.F. (1997):** Cell permeability under salt stress. In: Jaiwal, P.K., Singh, R.P., Gulati, A. (Eds.), *Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants*. Oxford and IBH, New Delhi, pp. 87–110.
- Mansour M.M.F., et Stadelmann, E.J. (1994):** NaCl-induced changes in protoplasmic characteristics of *Hordeum vulgare* cultivars differing in salt tolerance. *Physiologia Plantarum*, **91**: 389–394.
- Mansour M.M.F., Lee-Stadelmann O.Y. et Stadelmann E.J. (1993):** Salinity stress and cytoplasmic factors. A comparison of cell permeability and lipid partiality in salt sensitive and salt resistant cultivars and lines of *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare*. *Physiologia Plantarum*. **88**, 141–148.
- Marschner H. (1995):** Mineral nutrition of higher plants.(2nd Ed) – Acad. Pr., London.889 p.
- McReady R. M., Guggoz J. J., Silvicera V. et Owens H. S. (1950):** Determination of starch and amylase in vegetables. *Annal. Chem.*, **22**: 1156-1160.
- Møller I.M., Jensen P.E. et Hansson A. (2007):** Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annu Rev Plant Biol.* **2007**;58:459-81. Review.
- Monique G.A., Dominique B.R., Zohreh A. et Daniel J. (2003) :** Espèces réactives de l’oxygène. Comment l’oxygène peut-il devenir toxique ? - L’actualité chimique – nov/déc– pp 91-96.
- Morales F., Abadia A., Gomez-Aparisi J. et Abadia J., (1992):** Effects of combined NaCl and CaCl₂ salinity on photosynthetic parameters of barley grown in nutrient solution. *Physiologia Plantarum*, **86**: 419-426.
- Munns R. (2011):** Plant Adaptations to Salt and Water Stress: Differences and Commonalities. *Advances in Botanical Research*, **57**: 1-32.
- Munns R. et Tester D. (2008):** Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* **2008**. **59**:651–81.
- Munns R., James R.A. et Lauchli A. (2006):** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot.* **57**:1025–43.
- Munns R. (2005):** Genes and salt tolerance: Bringing them together. *Tansley Review. New Phytologist*, **167**: 645–663.

- Munns R. et James R. A. (2003):** Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant Soil*, 253: 201–218.
- Munns R., Husain S., Rivelli A.R., James.R.A., Condon A.G., Lindsay M.P., Lagudah E.S., Schachtman D.P et Hare R.A. (2002):** Avenues for increasing salt tolerance of crops and the role of physiologically based selection traits plant and soil. 247: 93-105.
- Munns R. (2002):** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25: 239–250.
- Munns R., Hare R. A., James R. A. et Rebetzke G. J. (2000):** Genetic variation for improving the salt tolerance of durum wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51, 69–74.
- Munns R. et Rawson H.M. (1999):** Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*,26: 459-464.
- Munns R., Cramer G.R. et Ball M.C. (1999):** Interactions between rising CO₂, soil salinity, and plant growth, in Y. Luo and H.A. Mooney (eds.), *Carbon Dioxide and Environmental Stress*, Academic Press, pp 139-167.
- Munns R. et Cramer G.R. (1996):** Is coordination of leaf and root growth mediated by abscisic acid? *Opinion. Plant and Soil*, 185: 33-49.
- Munns, R. et Sharp R.E. (1993):** Involvement of abscisic acid in controlling plant growth in soils of low water potential. *Australian Journal of Plant Physiology*, 20: 425-437.
- Munns R. (1993):** Physiological processes limiting plant growth in saline soil: Some dogmas and hypotheses. *Plant Cell and environment*. 16: 15-24.
- Munns R. (1988):** Why measure osmotic adjustment?. *Australian Journal of Plant Physiology*, 15: 717–726.
- Munns R., Gardner P.A., Tonnet M.L. et Rawson H.M. (1988):** Growth and development in NaCl-treated plants. 2. Do Na⁺ or Cl⁻ concentrations in dividing or expanding tissues determine growth in barley?. *Australian Journal of Plant Physiology*, 15: 529-540.
- Munns R., Greenway H., Delane R. et Gibbs J. (1982):** Ion concentration and carbohydrate status of elongating leaf tissue of *Hordeum vulgare* growing at high external NaCl. II. Cause of the growth reductions. *Journal of Experimental Botany*, 33:574–583.
- Nicolas M.E., Munns R., Samarakoon A.B. et Gifford R.M. (1993):** Elevated CO₂ improves the growth of wheat under salinity, *Australian Journal of Plant Physiology*,20: 349-360.
- Noctor G. et Foyer C.H. (1998):** Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Ann. Rev. Plant Physiol. & Molec. Biolo.* 49: 249-279.
- Noble C.L. et Rogers M.E. (1992):** Arguments for the use of physiological criteria for

improving the salt tolerance in crops. *Plant and Soil*, 146: 99-107.

Parent C., Capelli N. et Dat J. (2008): Reactive oxygen species, stress and cell death in plants. *C. R. Biologies* 331, 255–261.

Pessarakli M. (1999): Handbook of Plant and Crop Stress (ed. M. Pessarakali), Marcel Dekker, New York. 1254 p.

Pessarakli M., Tucker T.C. et Nakabayashi K. (1991): Growth response of barley and wheat to salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 14(4):331–340.

Poehlman J.M. (1985): Adaptation and distribution of barley. In: *Barley* (Eds.), Donald C Rasmusson. *Agronomy*, 26: 2-16.

Rachedi M.F. (2003) : Les céréales en Algérie : Problématique et option de réforme. *Revue Céréaliculture* N°38. ITGC.Elharrach, Alger. Pp. 25-30.

Rahnama A., Munns R., Poustini K. et Watt M. (2011): A screening method to identify genetic variation in root growth response to a salinity gradient. *Journal of Experimental Botany*, 62: 69–77.

Ramel F. (2009): implications des sucres solubles dans les réponses aux stress. Thèse de doctorat. Université Rennes 1.

Rawson H.M., Richards R.A. et Munns R. (1988): An examination of selection criteria for salt tolerance in wheat, barley and triticale genotypes. *Australian Journal of Agricultural research*, 39: 759-772.

Rawson, H.M. (1986): Gas exchange and growth in wheat and barley grown in salt, *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 475-489.

Rengasamy P. (2002): Transient salinity and subsoil constraints to dryland farming in Australian sodic soils: an overview. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 42: 351–36.

Rengel Z. (1992): The role of calcium in salt toxicity, *Plant Cell and Environment*, 15: 625-632.

Richards R.A., Dennett C.W., Qualset C.O., Epstein E., Norlyn J.D. et Winslow M.D. (1987): Variation in grain and biomass in Wheat, Barley and Triticale in salt-affected field. *Field Crops Research*, 15: 277-287.

Royo A., Aragués R., Playan E. et Ortiz R. (2000): Salinity-Grain yield response functions of barley cultivars assessed with a drip-injection irrigation system. *Soil science society of America journals*, 64: 359-365.

Saab I.N., Sharp R.E., Pritchard J. (1990): Increased endogenous abscisic acid maintains primary root growth and inhibits shoot growth of maize seedlings at low water potentials. *Plant Physiology*, 93, 1329-1336.

- Samuel M.A., Miles G.P et Ellis E. (2000):** ozone treatment rapidly activate MAP Kinase signaling in plants. *Plant Journal*. 22: 367-376.
- Sgherri C.L.M., Pinzino C. et Navari-Izzo F. (1993):** Chemical changes and $O_2^{\cdot-}$ production in thylakoid membranes under water stress. *Physiologia Plantarum*. 87:211–216.
- Shabala S. et Cui T. (2008):** Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiologia Plantarum*, 133: 651–669.
- Shafqat F. et Farooqe A. (2006):** the use of cell membrane stability (CMS) technique to screen salt tolerant wheat varieties. *Journal of plant physiology*. 163: 629-637.
- Sharma D.P. et Singh K.V.G.K. (1991):** Reuse of saline drainage water for irrigation. Better farming in salt affected soils, (16).Central Soil Salinity Research Institute, India, 15p.
- Shen Z.G., Shen Q.R., Liang Y.C. et Liu Y.L. (1994):**Effect of nitrogen on the growth and photosynthetic activity of salt-stressed barley. *Journal of Plant Nutrition*. 17: 787-799.
- Simon H., Codaccioni P. et Lecoeur X. (1989) :** produire des céréales à pailles. Lavoisier, Paris. 333p.
- Smirnoff N. (1993):** The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist*. 125: 27–58.
- Smirnoff N. (1995):** Antioxidant systems and plant responses to the environment. In: Smirnoff N ed. *Environment and plant metabolism. Flexibility and acclimation*. Oxford: Bios Scientific Publishers, 217-243.
- Snowalter A.M. (1993):** Structure and function of plant cell wall proteins. *Plant Cell*. 5: 9–23.
- Somel K. (1990):** The importance of barley in food production and demand in West Asia and North Africa. *Proceeding on increasing small ruminants productivity in semi arid areas*. Eds. E.F. Thomson and F.J. Thomson: 27-35.
- Szabolcs I. (1993):** Strategies for utilization of the salt affected soils in the World. *Acta Agronomica*, 42: (1-2):39-144.
- Szabolcs I. (1994):** Soils and salinisation. In: *Handbook of Plant and Crop Stress* (ed. M. Pessarakali), pp. 3–11. Marcel Dekker, NewYork.
- Schachtman D.P., Bloom A.G. et Dvorak J. (1989):** Salt tolerance *Triticum x Lophopyrum* derivatives limit the accumulation of sodium and chloride ions under saline stress. *Plant cell environ*. 12: 47-55.
- Taiz L. et Zeiger E. (2002):** *Plant physiology*, 3rd Edition. – Sinauer Assoc., Sunderland.690 p.

Tester M. et Davenport R. (2003): Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. – *Ann. Bot.* **91**: 503– 507.

Touaf L. (2002) : Evaluation du niveau de salinité des sols du Nord de l'Algérie. Mémoire de magister, INA, Alger, 71 p.

Touraine B. et Ammar M. (1985): Etude comparée de la sensibilité au sel d'un triticales et d'une orge. *Agronomie*, 5(5): 391-395.

Troll W. et Lindsay J. (1955): A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.* 39: 655-660.

Ungar I.A. (1991): *Ecophysiology of vascular halophytes*, CRC Press, Boca Raten, FL.209 p.

USDA-ARS. (2008): Research Databases. Bibliography on Salt Tolerance. George E. Brown, Jr. Salinity Lab. US Dep. Agric., Agric. Res. Serv. Riverside, CA. <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=8908>.

Van Rensburg L., Krüger G.H.J. et Krüger H. (1993): Proline accumulation as drought-tolerance selection criterion: its relationship to membrane integrity and chloroplast ultrastructure in *Nicotianatabacum L.*, *Journal of Plant Physiology*. 141, 188–194.

Wenxue W., Bilsborrow P. E., Hooley P., Fincham D. A., Lombi E. et Forster B. P. (2003): Salinity induced differences in growth, ion distribution and partitioning in barley between the cultivar Maythorpe and its derived mutant Golden Promise. – *Plant Soil* 250:183– 191.

Westgate M.E., Boyer J.S. (1985): Osmotic adjustment and the inhibition of leaf, root, stem and silk growth at low water potentials in maize. *Planta*, 164, 540-549.

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: 4089–4103.

Wilson. A., Ajlani G., Verbavatz J.M., Vass, I., Kerfeld C.A. et Kirilovsky D. (2006): A Soluble Carotenoid Protein Involved in Phycobilisome-Related Energy Dissipation in Cyanobacteria. *The Plant Cell*, 18: 992–1007.

Wolf O., Munns R., Tonnet M.L. et Jeschke W.D. (1991): The role of the stem in the partitioning of Na⁺ and K⁺ in salt-treated barley. *Journal of Experimental Botany* **42**, 697–704.

Wolf O. et Jeschke D. (1987): Modeling of sodium and potassium flows via phloem and xylem in the shoot of salt stressed barley. *Journal of Plant Physiology*, 128: 371-386.

World Ressources (1987): World Ressources Institute and the International Institute for Environment and Development, basic books, New York.

- Wu Y., Cosgrove D.J. (2000):** Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. *Journal of Experimental Botany*, 51, 1543-1553.
- Wyn Jones R.G. (1999):** Cytoplasmic potassium homeostasis: review of the evidence and its implications. In: D Oosterhuis, G Berkowitz, eds. *Frontiers in Potassium Nutrition: New Perspectives on the Effects of Potassium on Physiology of Plants*. Saskatoon: Potash and Phosphate Institute of Canada, 1999, pp 13–22.
- Wyn Jones R.G. et Storey R. (1978):** 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: 817-829.
- Yeo A.R., Yeo M.E., Caporn S.J.M., Lachno D.R. et Flowers T.J. (1985):** The use of ¹⁴C ethane diol as a quantitative tracer for the transpirational volume flow of water and an investigation of the effects of salinity upon transpiration, net sodium accumulation and endogenous ABA in individual leaves of *Oryza sativa* (L). *Journal of Experimental Botany*. 36, 1099–1109.
- Zid E. et Grignon C. (1991):** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes au stress. Cas des stress salin et hydrique. Dans : *L'Amélioration des Plantes pour l'Adaptation aux Milieux Arides*. Ed. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris, pp. 91-108.
- Ziza F.Z. (2006):** Evolution de la salinité des sols irrigués dans une région saharienne. Mémoire de magister, INA, Alger, 121 p.

Résumé

Le présent travail est une contribution à la compréhension du comportement agro-physiologique de deux variétés d'orge Algériennes (Saida et Tichedrett), à l'égard d'une contrainte saline. Pour ce faire, les plantes des deux variétés ont été soumises depuis le stade 1-2 feuilles jusqu'à la récolte à un régime de NaCl croissant 4,2 g/l, 7,2 g/l et 12 g/l. Les différents paramètres relatifs à la croissance et à la physiologie des deux variétés ont été ainsi mesurés. A l'issue du travail réalisé, nous pouvons conclure que sur la base de certains critères physiologiques et métaboliques, la variété Saida semble mieux supporter la contrainte saline que la variété Tichedrett, en effet, elle produit plus de grains que Tichedrett en milieu témoin ou sous contrainte saline avec un système racinaire plus développé et moins affecté, elle accumule moins de sodium et perd moins de Potassium. Toutefois, Tichedrett présente la capacité d'accumuler plus de proline et de caroténoïdes avec moins de chlorophylles perdues que Saida.

Mots clés: Salinité, Stress, Orge, *Hordeum vulgare* L., Tichedrett, Saida.

Summary

The present work is a contribution for the comprehension of agro-physiological comportment of two Algerian barley varieties (Saida and Tichedrett) under saline stress. The plants of the two varieties were subjected since the stage 1-2 leaf to the harvest to an increase regime of NaCl 4,2 g/l, 7,2 g/l et 12 g/l. the different parameters related to the growth and the physiology of the two varieties were studied. In the end of our work, we can conclude that under the base of certain metabolic and physiological parameters, Saida variety seemly tolerate salinity more than Tichedrett, it produce more grain than Tichedrett with more developed and less affected root system, it accumulate less sodium and lose less potassium than Tichedrett. However, Tichedrett presented the capacity to accumulate more proline and carotenoids and loose less chlorophyll than Saida.

Key words: Salinity, Stress, Barley, *Hordeum vulgare* L., Tichedrett, Saida.

. (,)

(NaCl)

. / 12 7.2 ,4.2

:

:

ANNEXE

Tableau des analyses de la variance

Modélisation de la variable nombre total des talles

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	336,679	112,226	17,956	0,171
Variétés	1	10,148	10,148	1,624	0,424
Doses*Variétés	3	4,590	1,530	0,245	0,864
Résidus	1	6,250	6,250		
Total	7	355,862			

Modélisation de la variable SURFACE FOLIAIRE :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	14798,329	4932,776	111,043	0,070
Variétés	1	348,480	348,480	7,845	0,218
Doses*Variétés	3	495,145	165,048	3,715	0,360
Résidus	1	44,422	44,422		
Total	7	15661,465			

Modélisation de la variable BIOMACE AERIENNE :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	2,051	0,684	18,935	0,167
Variétés	1	0,070	0,070	1,948	0,396
Doses*Variétés	3	0,058	0,019	0,532	0,736
Résidus	1	0,036	0,036		
Total	7	2,186			

Modélisation de la variable BIOMACE RACINAIRE

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	0,336	0,112	4484,500	0,011
Variétés	1	0,041	0,041	1624,500	0,016
Doses*Variétés	3	0,001	0,000	16,444	0,179
Résidus	1	0,000	0,000		
Total	7	0,379			

Modélisation de la variable BIOM AER/RACIN :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	0,131	0,044	0,946	0,620
Variétés	1	0,011	0,011	0,240	0,710
Doses*Variétés	3	0,024	0,008	0,171	0,906
Résidus	1	0,046	0,046		
Total	7	0,192			

Modélisation de la variable TENEUR EN EAU :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	51,755	17,252	107,822	0,071
Variétés	1	0,005	0,005	0,031	0,889
Doses*Variétés	3	0,923	0,308	1,923	0,477
Résidus	1	0,160	0,160		
Total	7	53,519			

Modélisation de la variable INTIGRITE MEMBRANAIRE :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	64,142	21,381	14,483	0,190
Variétés	1	23,290	23,290	15,777	0,157
Doses*Variétés	3	1,039	0,346	0,235	0,869
Résidus	1	1,476	1,476		
Total	7	90,291			

Modélisation de la variable TENEUR EN PROLINE :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	18,010	6,003	19,489	0,165
Variétés	1	0,135	0,135	0,439	0,627
Doses*Variétés	3	0,610	0,203	0,661	0,694
Résidus	1	0,308	0,308		
Total	7	18,779			

Modélisation de la variable TENEUR EN SUCRE SOLUBLE :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	34,058	11,353	98,207	0,074
Variétés	1	0,017	0,017	0,148	0,766
Doses*Variétés	3	3,176	1,059	9,158	0,237
Résidus	1	0,116	0,116		
Total	7	37,254			

Modélisation de la variable TENEUR EN SODIUM :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	2204,372	734,791	51,155	0,102
Variétés	1	5,056	5,056	0,352	0,659
Doses*Variétés	3	15,008	5,003	0,348	0,811
Résidus	1	14,364	14,364		
Total	7	2248,197			

Modélisation de la variable TENEUR EN POTASSIUM :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	3695,138	1231,713	712,292	0,028
Variétés	1	49,750	49,750	28,770	0,117
Doses*Variétés	3	0,827	0,276	0,159	0,913
Résidus	1	1,729	1,729		
Total	7	3747,740			

Modélisation de la variable TENEUR EN CALCIUM :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	4,025	1,342	1490,829	0,019
Variétés	1	0,714	0,714	793,347	0,023
Doses*Variétés	3	0,062	0,021	23,049	0,152
Résidus	1	0,001	0,001		
Total	7	4,802			

Modélisation de la variable Teneur en Chlorophylles Total :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	0,468	0,156	3,080	0,391
Variétés	1	0,004	0,004	0,080	0,825
Doses*Variétés	3	0,013	0,004	0,088	0,956
Résidus	1	0,051	0,051		
Total	7	0,525			

Modélisation de la variable Teneur en Carotenoides :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	0,025	0,008	514,070	0,032
Variétés	1	0,010	0,010	652,508	0,025
Doses*Variétés	3	0,004	0,001	73,215	0,086
Résidus	1	0,000	0,000		
Total	7	0,040			

Modélisation de la variable Chl a/Chl b :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	0,120	0,040	178,278	0,055
Variétés	1	0,002	0,002	6,722	0,234
Doses*Variétés	3	0,407	0,136	602,272	0,030
Résidus	1	0,000	0,000		
Total	7	0,690			

Modélisation de la variable Rendement en grain :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	1,077	0,359	897,750	0,025
Variétés	1	0,008	0,008	21,125	0,136
Doses*Variétés	3	0,002	0,001	2,028	0,467
Résidus	1	0,000	0,000		
Total	7	1,088			

Modélisation de la variable rapport k+/Na+ :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	12603,192	4201,064	2594,852	0,014
Variétés	1	1,357	1,357	0,838	0,528
Doses*Variétés	3	2,460	0,820	0,506	0,745
Résidus	1	1,619	1,619		
Total	7	12607,211			

Modélisation de la variable rapport C++/Na+ :

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Doses	3	179,382	59,794	2435,227	0,015
Variétés	1	0,023	0,023	0,943	0,509
Doses*Variétés	3	0,040	0,013	0,546	0,731
Résidus	1	0,025	0,025		
Total	7	179,448			