

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE BLIDA 1

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIES

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme en Master académique**

**Filière : Sciences de la Nature et de la Vie**

**Spécialité : Système de production agro-écologique**

**Thème :**

Caractérisation morphologique de la réponse de deux écotypes  
d'*Atriplex halimus* L. aux stress hydrique et salin

Présenté par :

**BOUABDALLAH Housseem Eddine**

**Devant les membres de jury composé de :**

M <sup>r</sup>	BOUTAHRAOUI S.A.	M.C.A	U. Blida 1	Président
Mme	CHAOUIA C.	Professeur	U. Blida 1	Promotrice
M <sup>elle</sup>	CASASNI L.	Doctorante	U. Blida 1	Co-promotrice
M <sup>me</sup>	MOUAS A.	M.C.A	U. Blida 1	Examinatrice

**Année universitaire**

2019-2020

**Je dédie ce modeste travail au professeur défunt M<sup>r</sup> HAMOUCHE Bachir  
que dieu le bénisse, il nous a quitté en laissant un grand vide, nous  
n'oublions jamais sa persévérance et son aide à tout les étudiants par ses  
précieuses conseils, pour leur réussite.**

## Remerciements

Le présent travail a été réalisé au niveau du Laboratoire de recherches de physiologie et amélioration végétale du Département de Biotechnologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université Saad Dahleb Blida (1).

Avant tout louange à **Dieu** le tout puissant pour m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour terminer ce modeste travail.

Je tiens à remercier ma promotrice **M<sup>me</sup> CHAOUIA C.**, professeur au Faculté des sciences de la Nature et de la Vie à l'université de Saad Dahleb Blida (1), d'avoir eu l'amabilité de diriger ce travail. Qu'elle trouve ici, l'expression de ma profonde et sincère reconnaissance pour tous ses efforts, sa générosité, son savoir, ses critiques constructives et sa confiance.

Je tiens également à remercier ma co-promotrice **M<sup>elle</sup> CASSASNI L.**, doctorante au département de biotechnologies à l'université Saad Dahleb Blida (1), pour son aide, sa disponibilité, ses orientations, sa patience et ses efforts.

**Je tiens également à remercier les membres du jury:**

**M<sup>r</sup> BOUTAHRAOUI S.A.**, maître de conférences à l'université Saad Dahleb Blida (1), pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury.

**M<sup>me</sup> MOUAS A.**, maître de conférences à l'université Saad Dahleb Blida (1), de m'avoir fait l'honneur d'évaluer mon travail.

Je tiens à remercier mes parents qui m'ont soutenu à long terme, ainsi mes chères frères et sœurs, et Je tiens aussi à remercier **Mr Abd ELRahmane.**, technicien de laboratoire des cultures maraichères et **M<sup>me</sup> Karima**, technicienne de laboratoire de physiologie végétale, qui m'a permis de travailler dans de bonnes conditions.

Je tiens à remercier **M<sup>elle</sup> RIACHE M.**, doctorante à l'Institut National Agronomique d'El Harrach (INA), pour son soutien moral, la qualité de ses conseils et son aide.

Je tiens également à exprimer mes profondes reconnaissances à tous mes enseignants et enseignantes, qui m'ont aidé durant mes études.

Je remercie tous mes amis en particulier les étudiants de spécialité de système de production agro-écologique.

Enfin, il me serait difficile d'omettre de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail. Où ils trouvent dans ses quelques lignes l'expression de mes sincères remerciements.

Merci énormément.

# Dédicace

A Ma tendre Mère **Wahiba** : Tu représente pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études,

A Mon très cher Père **Abd El Hakim** : Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années,

A mes chères sœurs **Selma, Imane, Sarah**, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères, **Rafik et Imade** pour leur appui et leur encouragement,

A ma nièce **Ritadj** et son Père **Mourad**,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

A tous mes amis et collègues qui se reconnaissent et plus particulièrement à **Abd el Madjid, Moussa, Abd el Rahim, Fares, Islam, Aymen, Safouane, Nour el Houda, Oumaima et khadidja**, pour leurs encouragements et soutient,

A tous ceux qui me connaissent de loin ou de près,

Merci d'être toujours là pour moi.

## Résumé :

La sécheresse et la salinité sont des contraintes majeures qui limitent la croissance et le développement des plantes dans le monde, en particulier en Algérie. La propagation de ces deux phénomènes naturels conduit à l'extinction de nombreuses espèces végétales, et oblige certaines plantes à développer des mécanismes physiologiques et biochimiques leur permettant de s'adapter à ces conditions difficiles. Dans ce contexte, il est important d'étudier le degré de résistance des plantes aux environnements extrêmes afin de limiter la dégradation des terres touchées par ces deux contraintes naturelles.

Dans ce travail, nous avons réalisé une étude expérimentale sur deux écotypes d'*Atriplex halimus* L. Djelfa et Tamanrasset, l'expérimentation est réalisée en système hydroponique sur des plantules âgées de deux mois, et stressées avec différentes doses de sel (0, 100 et 300 mM de chlorure de sodium) et de polyéthylène glycol 6000 (0, 50 et 100 g/l), pendant une période de 10 jours. Dans le but d'étudier la réponse morphologique et physiologique des plantules aux deux contraintes abiotiques, quelques paramètres ont été mesurés: la teneur en eau de la plante, la surface foliaire, la longueur de la partie aérienne et racinaire et la teneur en pigments chlorophylliens. Les résultats obtenus varient en fonction de l'écotype, de la nature et de l'intensité du stress. Les plantules d'*Atriplex halimus* maintiennent une teneur en eau élevée malgré les fortes concentrations en NaCl et en PEG6000. Chez les deux écotypes, la surface foliaire et la longueur de la tige ne sont pas affectées par la salinité mais diminuent chez les plantules stressées avec des solutions de PEG6000. Une diminution de la longueur des racines et de la teneur en pigments chlorophylliens est notée chez les plantules de Djelfa et de Tamanrasset soumises aux stress hydrique et salin.

À la fin de notre étude, nous avons pu conclure que les plantules d'*Atriplex halimus* L. provenant de la région de Tamanrasset présentent une meilleure tolérance aux stress environnementaux comparées à celles de Djelfa. En effet les plantules de Tamanrasset se développent dans un climat sec et marginal comparées à celles de Djelfa, région semi-aride où les conditions environnementales sont moins rudes.

**Mots clés :** *Atriplex halimus* L., stress hydrique, stress salin, paramètres morphologiques, paramètres physiologiques, écotypes.

## **Abstract:**

Drought and salinity are major constraints that limit the growth and development of plants worldwide, particularly in Algeria. The propagation of these two natural phenomena leads to the extinction of many plant species, and obliges certain plants to develop physiological and biochemical mechanisms allowing them to adapt to these difficult conditions. In this context, it is important to study the degree of resistance of plants to extreme environments in order to limit the degradation of the land affected by these two natural constraints.

In this work, we carried out an experimental study on two ecotypes of *Atriplex halimus* L. Djelfa and Tamanrasset, the experiment is carried out in a hydroponic system on seedlings two months old, and stressed with different doses of salt (0, 100 and 300 mM of sodium chloride) and polyethylene glycol 6000 (0, 50 and 100 g / l), for a period of 10 days. In order to study the morphological and physiological response of the seedlings to the two abiotic constraints, a few parameters were measured: the water content of the plant, the leaf area, the length of the aerial and root part and the content of chlorophyll pigments. . The results obtained vary according to the ecotype, the nature and the intensity of the stress. The *Atriplex halimus* seedlings maintain a high water content despite the high NaCl and PEG6000 concentrations. In the two ecotypes, the leaf area and stem length are not affected by salinity but decrease in seedlings stressed with solutions of PEG6000. A decrease in the length of the roots and in the content of chlorophyll pigments is noted in the seedlings of Djelfa and Tamanrasset subjected to water and salt stress.

At the end of our study, we were able to conclude that the *Atriplex halimus* L. Seedlings from the Tamanrasset region have a better tolerance to environmental stress compared to those of Djelfa. Indeed, the Tamanrasset seedlings thrive in a dry and marginal climate compared to those of Djelfa, a semi-arid region where the environmental conditions are less harsh.

**The key words:** *Atriplex halimus* L., water stress, salt stress, physiological parameters, morphological parameters, ecotype.

## الملخص:

يعد الجفاف والملوحة من الأخطار الرئيسية التي تحد وتكبح من نمو وتطور النباتات في جميع أنحاء العالم، وخاصة في الجزائر. يؤدي انتشار هاتين الظاهرتين الطبيعيين إلى انقراض العديد من الأنواع النباتية، وهذا يجبر نباتات معينة على تطوير آليات فسيولوجية وكيميائية حيوية تسمح لها بالتكيف مع هذه الظروف الصعبة، و في هذا السياق من المهم دراسة درجة مقاومة النباتات للبيئات القاسية من أجل الحد من تدهور الأراضي المتأثرة بهذين العائقين الطبيعيين.

في هذا العمل، أجرينا دراسة تجريبية على نوعين بيئيين من نبات القطف المحلي (الجلفة و تمنراست)، تم إجراء التجربة في نظام مائي على شتلات عمرها شهرين، تحت تطبيق جرعات مختلفة من الملح (0، 100 و 300 ميلي مول من كلوريد الصوديوم) وبوليثيلان جليكول 6000 (0، 50 و 100 غ / لتر)، لمدة 10 أيام. من أجل دراسة الاستجابة المورفولوجية والفسيولوجية للشتلات تحت تأثير الملوحة والجفاف، تم قياس بعض المعلمات: المحتوى المائي لنباتات، ومساحة أوراق النباتات، وطول الجزء الهوائي والجزر ومحتوى أصباغ الكلوروفيل. تختلف النتائج التي تم الحصول عليها وفقاً للنوع الإيكولوجي وطبيعة وشدة الضغط. تحافظ الشتلات على نسبة عالية من الماء على الرغم من التركيزات العالية من كلوريد الصوديوم وبوليثيلان جليكول 6000. في كلا النمطين الإيكولوجيين، لا تتأثر مساحة الورقة وطول الساق بالملوحة ولكن انخفضت في الشتلات المجهددة بمحلول بوليثيلان جليكول. كما أنه لوحظ انخفاض في طول الجذور وفي محتوى أصباغ الكلوروفيل في شتلات الجلفة و تمنراست المعرضة للإجهاد المائي والإجهاد الملح.

في نهاية دراستنا، تمكنا من استنتاج أن الشتلات القطف المحلي من منطقة تمنراست لديها قدرة أفضل على تحمل الضغوط البيئية مقارنة بتلك التي في الجلفة. في الواقع، تنمو وتتطور شتلات تمنراست في مناخ جاف وقاسي مقارنة بتلك الموجودة في الجلفة، وهي منطقة شبه قاحلة تكون الظروف البيئية فيها أقل قسوة.

**الكلمات المفتاحية :** القطف المحلي، الإجهاد المائي، الإجهاد الملحي، المعلمات المورفولوجية، المعلمات الفسيولوجية، نوعيين بيئيين.

## Liste des abréviations :

**ABA** : Acide abscissique

**ADN** : Adénosine dinucléotide

**ATP** : Adénosine triphosphate

**C.E** : Conductivité électrique

**Chl a** : Chlorophylle a

**Chl a+b** : Chlorophylle ab

**Chl b** : Chlorophylle b

**Cl** : Chlorure

**CO<sub>2</sub>** : Désoxyde carbone

**CO<sub>3</sub>** : Trioxyde de carbone

**Cu** : Cuivre

**ESP** : Pourcentage de sodium échangeable

**Fe** : Fer

**h** : Heure

**ha** : Hectare

**K** : Potassium

**meq/l** : Milliéquivalent par litre

**mg** : Magnésium

**mg/g PF** : Milligramme par gramme de poids frais

**mha** : Million hectares

**ml** : Millilitre

**mm** : Millimètre



**mM** : Millimole

**mmhos/cm** : Milli mhos par centimètre

**Mn** : Manganèse

**Na** : Sodium

**NaCl** : Chlorure de sodium

**nm** : Nanomètre

**NO<sub>3</sub>** : Nitrate

**O<sub>2</sub>** : Oxygène

**PEG 6000** : Polyéthylène glycol 6000

**PO** : Pression osmotique

**SAR** : Débit d'Absorption Spécifique

**S/m** : siemens par mètre

**SO<sub>4</sub>** : Sulfate

**V** : Volume

## LISTE DES FIGURES

	Page
<b>Figure 1.</b> Touffe d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	12
<b>Figure 2.</b> Graines d' <i>Atriplex halimus</i> L. décortiquées.....	13
<b>Figure 3.</b> Feuilles d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	15
<b>Figure 4.</b> Rameau feuillu avec inflorescence et fruit .....	16
<b>Figure 5.</b> Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes incluser ou excluser.....	38
<b>Figure 6.</b> Représentation générale de la réponse au stress chez les plantes .....	40
<b>Figure 7.</b> Carte géographique indiquant les sites de provenance du matériel végétal.....	43
<b>Figure 8.</b> Serre expérimentale (Laboratoire de cultures Maraichères).....	44
<b>Figure 9.</b> Semis des graines d' <i>Atriplex halimus</i> L. issues de Tamanrasset et Djelfa .....	45
<b>Figure 10.</b> Vue générale des plantules après repiquage.....	45
<b>Figure 11.</b> Présentation du système hydroponique.....	46
<b>Figure 12.</b> Vue générale du Bloc .....	48
<b>Figure 13.</b> Dispositif expérimental adopté aux plantules d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	48
<b>Figure 14.</b> Effet du NaCl à différentes concentrations sur la teneur en eau chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	51
<b>Figure 15.</b> Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la teneur en eau chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L. ....	52
<b>Figure 16.</b> Effet du NaCl à différentes concentrations sur la surface foliaire chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	53
<b>Figure 17.</b> Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la surface foliaire chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	54
<b>Figure 18.</b> Effet du NaCl à différentes concentrations sur la longueur de la tige chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	55
<b>Figure 19.</b> Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la longueur de la tige chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	56
<b>Figure 20.</b> Effet du NaCl à différentes concentrations sur la longueur de la racine chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	57
<b>Figure 21.</b> Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la longueur de la racine chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	58
<b>Figure 22.</b> Effet du NaCl à différentes concentrations sur la teneur en chlorophylle a chez	

les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	59
<b>Figure 23.</b> Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la teneur en chlorophylle a chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	60
<b>Figure 24.</b> Effet du NaCl à différentes concentrations sur la teneur en chlorophylle b chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	61
<b>Figure 25.</b> Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la teneur en chlorophylle b chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	62
<b>Figure 26.</b> Effet du NaCl à différentes concentrations sur la teneur en chlorophylle a+b chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	63
<b>Figure 27.</b> Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la teneur en chlorophylle a+b chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	64
<b>Figure 28.</b> Effet du NaCl à différentes concentrations sur la teneur en caroténoïdes chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	65
<b>Figure 29.</b> Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la teneur en caroténoïdes chez les deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	66

## LISTE DES TABLEAUX

	<b>Page</b>
<b>Tableau 1</b> : Répartition numérique des espèces d'Atriplex dans le monde .....	<b>6</b>
<b>Tableau 2</b> : Les Atriplex en Afrique du nord.....	<b>7</b>
<b>Tableau 3</b> : Répartition des différentes espèces en Algérie.....	<b>8</b>
<b>Tableau 4.</b> Données écologiques et climatiques des stations expérimentales où s'est effectuée la récolte des fruits des deux écotypes d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	<b>44</b>
<b>Tableau 5.</b> Composition de la solution nutritive modifiée utilisée.....	<b>47</b>

# Table des matières

	Page
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>CHAPITRE I : CARACTERISTIQUE DE L'ESPECE</b> .....	<b>3</b>
1. Les plantes halophytes .....	3
1.1. Définition et répartition .....	3
1.2. Mécanismes d'adaptation à la salinité (tolérance au sel) .....	3
1.3. Biologie des halophytes .....	3
2. Les chénopodiacées .....	4
2.1. Définition et répartition .....	4
2.2. Intérêts des chénopodiacées .....	5
3. Le genre <i>Atriplex</i> .....	5
3.1. Présentation de genre <i>Atriplex</i> .....	5
3.2. Taxonomie, Botanique et physiologie .....	5
3.3. Répartition des <i>Atriplex</i> dans le monde .....	6
3.4. Intérêts des <i>Atriplex</i> .....	8
3.4.1 Intérêt fourrager .....	8
3.4.2 Intérêt écologique .....	9
3.4.3 Intérêt médicinal .....	9
3.4.4 Intérêt économique .....	10
4. L'espèce <i>Atriplex halimus</i> L.....	10
4.1. Généralité.....	10
4.2. Systématique de l'espèce .....	10
4.3. Description botanique et physiologique .....	11
4.3.1 Graines .....	12
4.3.2 Racines .....	14
4.3.3 Tiges.....	14
4.3.4 Feuilles.....	14
4.3.5 Fleurs.....	15
5. Composition chimique .....	16
<b>Chapitre II : EFFETS DES STRESS ABIOTIQUES SUR LES VEGETAUX</b> .....	<b>17</b>
1. Définition de stress .....	17
1.1. Les différents types de stress .....	17
1.1.1. Le stress hydrique .....	18
1.1.2. Le stress thermique .....	18
1.1.3. Le stress salin .....	18
2. Les effets du stress hydrique sur les plantes .....	18
2.1. L'eau, le sol et les plantes .....	18

2.1.1.	Etat de l'eau dans la plante .....	18
2.1.2.	Rôle et importance de l'eau dans la plante .....	19
	❖ Circulation et compartimentation de l'eau dans la plante .....	20
2.1.3.	L'eau dans le sol .....	20
2.1.4.	Transpiration et croissance.....	21
2.2.	Stress hydrique .....	21
2.2.1.	Notion de stress hydrique .....	21
2.2.2.	La sécheresse .....	22
2.2.3.	Contraintes hydriques .....	22
2.2.4.	Les conséquences du déficit hydrique sur les plantes.....	23
2.2.5.	Différentes formes de réponses des plantes au stress hydriques .....	25
2.2.5.1.	Adaptations phénologiques.....	25
2.2.5.2.	Adaptations morphologiques .....	26
	❖ Système racinaire .....	26
	❖ Surface foliaire .....	26
	❖ Réduction du nombre de feuilles .....	27
2.2.5.3.	Adaptations physiologiques.....	27
	❖ Processus photosynthétique .....	27
	❖ Teneur en chlorophylle .....	27
2.2.5.4.	Adaptations biochimiques .....	28
	❖ Ajustement osmotique .....	28
	❖ Synthèse d'osmoprotecteurs .....	28
	❖ Accumulation de la proline .....	28
	❖ Les Bétaines .....	28
	❖ Les Sucres et leurs dérivés les polyols .....	29
3.	La salinité .....	29
3.1.	Généralité sur la salinité .....	29
3.2.	Les types de la salinisation .....	30
	❖ Salinisation primaire .....	30
	❖ Salinisation secondaire .....	30
3.3.	Principaux sels solubles .....	31
3.4.	Genèse de sols salin et/ou sodique .....	31
3.5.	Répartition des sols salés dans le monde et en Algérie .....	32
3.6.	Mécanismes de toxicité du chlorure de sodium.....	32
3.6.1.	Stress osmotique .....	32
3.6.2.	Stress ionique .....	33
3.6.3.	Stress secondaires .....	34
3.6.4.	Stress oxydant .....	34
4.	La salinité, le sol et la plante.....	35
4.1.	Impact de la salinité sur le sol .....	35
4.2.	Impact de la salinité sur le végétal .....	35
4.3.	Impact de la salinité sur la morphologie de la plante .....	36
4.4.	Impact de la salinité sur la physiologie de la plante .....	37
	❖ Sur les échanges gazeux et la photosynthèse .....	37

❖ Sur la reproduction .....	37
4.5. Mécanisme de tolérance à la salinité .....	37
4.5.1. Exclusion .....	38
4.5.2. Inclusion.....	39
4.5.3. Recirculation.....	39
4.6. Stratégie d'adaptation de la plante aux stress salin.....	39
4.6.1. Ajustement osmotique .....	41
4.6.2. Accumulation de sucres solubles .....	41
4.6.3. Accumulation de proline.....	41
4.7. Lutte contre la salinisation des sols .....	42

## **PARTIE EXPERIMENTALE**

### **CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODE.....43**

1. Matériel végétal .....	43
2. site expérimental .....	44
3. Conditions de culture.....	45
4. Dispositif expérimentale .....	48
5. Paramètres étudiés .....	49
5.1. Teneur en eau de la plante .....	49
5.2. Surface foliaire .....	49
5.3. Longueur de la partie aérienne et racinaire .....	49
5.4. Dosage des pigments chlorophylliens .....	49
6. Analyses statistiques .....	50

### **CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION.....51**

#### **RESULTATS.....51**

1. Teneur en eau .....	51
1.1. Effet du stress salin sur la teneur en eau chez les deux écotypes .....	51
1.2. Effet de stress hydrique sur la teneur en eau chez les deux écotypes.....	52
2. Surface foliaire .....	53
2.1. Effet du stress salin sur la surface foliaire chez les deux écotypes .....	53
2.2. Effet du stress hydrique sur la surface foliaire chez les deux écotypes .....	54
3. Longueur de la partie aérienne et racinaire .....	55
3.1. Effet du stress salin sur la longueur de la partie aérienne chez les deux écotypes .....	55
3.2. Effet du stress hydrique sur la longueur de la partie aérienne chez les deux écotypes.....	56
3.3. Effet du stress salin sur la longueur de la partie racinaire chez les deux écotypes .....	57
3.4. Effet du stress hydrique sur la longueur de la partie racinaire chez les deux écotypes .....	58
4. Pigments chlorophylliens .....	59
4.1. Effet du stress salin sur la concentration en chlorophylles (a) chez les deux écotypes .....	59
4.2. Effet du stress hydrique sur la concentration en chlorophylles (a) chez les deux écotypes .....	60

4.3.	Effet du stress salin sur la concentration en chlorophylles (b) chez les deux écotypes .....	61
4.4.	Effet du stress hydrique sur la concentration en chlorophylles (b) chez les deux écotypes .....	62
4.5.	Effet du stress salin sur la concentration en chlorophylles (a+b) chez les deux écotypes .....	63
4.6.	Effet du stress hydrique sur la concentration en chlorophylles (a+b) chez les deux écotypes .....	64
4.7.	Effet du stress salin sur la concentration en caroténoïdes chez les deux écotypes .....	65
4.8.	Effet du stress hydrique sur la concentration en caroténoïdes chez les deux écotypes...	66
<b>DISCUSSION GENERALE .....</b>		<b>66</b>
1.	La teneur en eau .....	66
2.	La surface foliaire .....	67
3.	La longueur de la partie aérienne et racinaire .....	68
4.	Les pigments chlorophylliens .....	70
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</b>		<b>72</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>		<b>75</b>
<b>ANNEXE.....</b>		<b>105</b>



# Introduction

## **Introduction :**

Les changements climatiques observés depuis quelques décennies apparaissent comme une cause profonde des modifications environnementales (**Diack et al., 2015**). Ce processus devient de plus en plus contraignant pour la croissance et le développement des plantes notamment dans les zones semi-arides et arides (**Higazy et al., 1995**). L'Algérie fait partie du groupe des pays méditerranéens où la sécheresse, observée depuis longtemps, a conduit manifestement au processus de salinisation des sols (**Ozanda, 1954 ; Gaucher et Burdin, 1974**). Ces deux contraintes abiotiques ont modifiées la stabilité des écosystèmes (**Lieth et al., 1997**) et sont les principales causes de la désertification des sols (**Hamdy, 1999**).

Plus de 1/6 des terres dans le monde sont touchées par la dégradation et la déforestation, 6,4 % des terres seraient touchées par des phénomènes de salinité ou d'alcalinité, soit une superficie d'environ 10 millions de km<sup>2</sup> (**Anonyme, 2000**). Environ 20% des terres sont cultivées dans le monde dont environ la moitié des sols irrigués sont touchés par la salinité (**Zhu, 2001**) à cause de l'accumulation des sels, en particulier le chlorure de sodium contenu dans l'eau d'irrigation (**Ibrahim et al., 2013**). En Afrique, près de 40 Million d'hectares sont affectés par la salinisation, soit près de 2% de la surface totale (**Iptrib, 2006**). La sécheresse est largement reconnue comme le premier facteur limitant la production agricole mondiale (**Turner, 1986 ; Passioura, 1996**). Globalement, 35% de la superficie cultivable peut être classée comme aride ou semi aride et, sur ce qui reste 25% des superficies au moins sont régulièrement soumises à des périodes de sécheresse (**Richards, 1994**).

Les fortes concentrations en sels ont des effets toxiques sur la croissance des plantes. Le niveau élevé de la salinité du sol diminue la disponibilité d'éléments nutritifs aux plantes et crée la forte pression osmotique (**Endris et Mohammed, 2007 ; Sonon et al., 2012**). L'excès de sel dans le sol affecte la germination, la croissance des plantules et leur vigueur, la phase végétative, la floraison et la fructification à des degrés variables (**Delgado et al., 1994 ; Cordovilla et al., 1995**), conduisant à terme à des baisses de rendement et de qualité des productions.

Le déficit hydrique affecte plusieurs variables physiologiques de la plante. Ainsi le flux hydrique peut être déséquilibré par deux manières : soit les précipitations qui sont rares ou trop faibles, soit le sol retient peu d'eau (**Roger et Rubinstein, 2004**). La sécheresse à un impact négatif sur le rendement de la culture et la qualité des produits. Le stress hydrique entraîne essentiellement une diminution de la croissance ainsi qu'une réduction de l'activité photosynthétique, affectant ainsi le rendement et provoquant l'épuisement de la plante si le stress perdure (**May et Milthorpe, 1962**).

Certaines espèces ont un potentiel génétique pour la tolérance des stress environnementaux, l'introduction d'arbres ou d'arbustes tolérants à la salinité et à la sécheresse est l'une des techniques utilisées pour la valorisation des terres marginales (**Zid et Grignon, 1991**). Les halophytes sont des plantes naturellement tolérantes au sel et poussent aussi bien, voir mieux dans un environnement salin qu'en conditions normales. Elles représentent la limite supérieure des capacités adaptatives des organismes végétaux à la salinité. Ces plantes sont dotées de caractéristiques requises pour tolérer le sel, et semblent constituer un outil précieux pour valoriser les zones marginales fortement salées et menacées par la désertification (**Bouziid et al., 2013**).

Parmi les plantes halophytes qui peuvent être cultivées pour pallier ces contraintes, nous retrouvons les espèces du genre *Atriplex*. Les plantations d'*Atriplex* apparaissent comme l'une des meilleures solutions pour le rétablissement de terres dégradées et la restauration des sols. Ces arbustes sont extrêmement rustiques et sont capables d'être cultivées dans des conditions extrêmes d'aridité et de salinité, constituant une réserve fourragère pour les périodes de disettes (**Benrebaha, 2003**). Les espèces du genre *Atriplex* sont souvent utilisées dans la réhabilitation de sites difficiles. Elles possèdent par ailleurs, un système racinaire très développé, fixant les couches supérieures du sol et peuvent être utilisées comme moyen de lutte contre la désertification (**Belkhodja et Bidai, 2004**).

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail, nous avons tracé pour objectif d'essayer de comprendre le comportement morphologique d'*Atriplex halimus* L. face à la contrainte saline (NaCl) et au déficit hydrique (PEG 6000). Pour cela nous avons comparé deux écotypes provenant de Djelfa (région semi aride) et de Tamanrasset (région aride).

Ce travail comporte deux parties principales :

- ✓ La première partie concerne la synthèse bibliographique regroupant les informations essentielles sur l'*Atriplex halimus* L. Ainsi qu'une présentation des aspects des stress salin et hydrique.
- ✓ La deuxième partie concerne les techniques utilisées pour la réalisation de ce travail suivie des principaux résultats et leurs discussions.

L'étude est achevée par une conclusion générale et des perspectives.

# Synthèse bibliographique

# CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES DE L'ESPECE

## 1. Les plantes halophytes :

### 1.1. Définition et répartition :

Les halophytes sont des plantes sauvages, certaines d'entre elles sont des plantes à graines, capables de continuer leur cycle de vie dans des habitats salins où la concentration en sel est d'environ 5 g/l du total de matières solides dissoutes. On les retrouve principalement dans les zones côtières, les marais salés, les régions arides et semi arides et les steppes. Elles représentent environ 11% de la flore du monde, et on dénombre plus de 10000 espèces dont 250 sont des cultures de base potentielle. La flore méditerranéenne regroupe environ 700 espèces, dont 360 espèces répertoriées en Algérie, ce qui représente localement un énorme potentiel (**Mokded et al., 2008**).

### 1.2. Mécanismes d'adaptation à la salinité (tolérance au sel) :

Le terme "tolérance au sel" définit la capacité de la plante à conserver les principaux processus physiologiques durant la phase végétative, et à effectuer de manière satisfaisante son cycle de développement. Elles possèdent des caractéristiques physiologiques et morphologiques qui leur permettent de proliférer dans les milieux de fortes concentrations en sel. Généralement, elles absorbent de grandes quantités de sodium pour maintenir leur pression osmotique interne. Le stress salin provoque un déséquilibre ionique, l'excès des ions de chlorure de sodium à un effet néfaste sur de nombreux systèmes cellulaires. Par conséquent, la survie et la croissance des plantes exigent un ensemble d'outils pour l'adaptation pour rétablir l'homéostasie (**Edward et al., 1999**).

Les halophytes ont ainsi développées plusieurs mécanismes dont la combinaison leurs permet de prospérer en milieu salé. Il s'agit de l'exclusion et l'inclusion, deux principaux mécanismes qui expliquent la capacité de ces espèces à résister aux conditions de salinité élevée (**Chedly et al., 2008**).

### 1.3. Biologie des halophytes :

La plupart des halophytes sont herbacées et présentent des organes aériens charnus (**Genoux et al., 2000 ; Mulas et Mulas, 2004**).

Selon **Jabnune, (2008)**, Cette succulence est due soit à une hypertrophie de certaines cellules qui, gorgées d'eau, forment un tissu aquifère, soit à la formation d'un grand nombre d'assises cellulaires, soit aux deux phénomènes à la fois.

Sur les sables et les falaises littorales, au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la mer, la succulence disparaît et les caractères morphologiques et anatomiques les plus couramment rencontrés (racines très développées, organes aériens protégés par une cuticule épaisse, un revêtement pileux abondant) sont ceux que l'on observe en général chez les espèces des milieux secs (xérophytes) (Faurie et al., 2006).

D'après Dutuit, (1999), L'implantation des halophytes dans les divers milieux salés se fait à partir de semences ou par bouturage naturel, ce dernier est fréquent chez diverses halophytes terrestres par fragmentation des rhizomes.

## **2. Les chénopodiacées :**

### **2.1. Définition et répartition :**

D'après Bouda et Haddioui, (2011), les Chénopodiacées sont une grande famille de plantes herbacées vivaces, plus rarement annuelles ou d'arbres et d'arbustes, qui sont généralement halophytes. Cette famille euphorbiacées comprend environ 102 genres et 1400 espèces. Elle est largement distribuée dans les milieux salins tempérés et subtropicaux du monde entier, particulièrement autour de la Méditerranée, la mer caspienne, la mer rouge, les steppes arides de l'Asie, aux marges du désert du Sahara, aux Etats-Unis, en Afrique, en Australie et en Argentines. Certaines espèces sont également devenues des plantes adventices qui poussent dans les sols alcalins autour des habitations surtout les sols riches en eau.

Les membres de cette famille ont des racines profondes et pénétrantes, destinées à absorber la plus grande quantité d'eau possible, généralement fibreuses ou pivotantes, parfois tubéreuses et charnues. Les rameaux souvent succulents sont parfois articulés, épineux ou glanduleux. Les feuilles sont généralement très petites, simples, alternes ou plus rarement opposées, souvent charnues ou réduites ou recouvertes de poils à de minuscules écailles. Le limbe, linéaire à triangulaire, possède un aspect farineux ou pubescent. Elles sont dépourvues de stipules. Les fleurs, actinomorphes, exceptionnellement à symétrie bilatérale, sont bisexuées ou unisexuées. Les fruits sont généralement entourés par les calices persistants (Rahmoune et al., 2004).

Selon Abd El Raheim et al., (2012), les chénopodiacées sont des plantes adaptées à la sécheresse, que celle-ci soit due au climat ou qu'elle résulte de la salinité du sol. En effet, dans ce dernier cas, la richesse du sol en sels minéraux fait que la pression osmotique des terrains est très élevée, autrement dit que l'eau est prisonnière de ces sels. La plante est obligée de se créer un milieu interne dont la pression osmotique sera supérieure à celle du sol, d'où la richesse de ces plantes en ions alcalins.

## 2.2. Intérêts des chénopodiacées :

D'après **Abd El Raheim et al., (2012)**, de nombreuses espèces sont des sources de pâture importante pour les régions désertiques ou steppiques et d'une manière générale, la famille fournit un certain nombre d'espèces qui sont les composants majeurs de nombres d'environnements arides ou rudéraux. Certain espèces utilisés dans l'alimentation de l'homme (La betterave *Beta vulgaris*) et bétail (La betterave fourragère).

## 3. Le genre *Atriplex* :

### 3.1. Présentation de genre *Atriplex* :

Les plantes du genre *Atriplex* sont des halophytes présentes dans la plupart des régions du globe. Ce sont des plantes qui poussent sur des terrains riches en chlorures et nitrates (terrains salés) (**Le Houerou, 1992**). Ces plantes appartiennent à la famille des Chénopodiacées, qui fait elle-même partie de la classe des dicotylédones. Ils se caractérisent par leur grande diversité (**Kinet et al., 1998**).

Selon **Maalem (2002)**, Le genre *Atriplex* est le plus grand et le plus diversifié de la famille des *Chenopodiaceae* et Compte environ 400 espèces réparties dans les régions tempérées, sub-tropicales et dans les différentes régions arides et semi-arides du monde. Il est particulièrement répandu en Australie où on peut déterminer une grande diversité d'espèces et de sous-espèces. Le genre *Atriplex* inclut 48 espèces et sous espèces dans le bassin méditerranéen, Ce genre comprend surtout des plantes herbacées vivaces et, plus rarement, des arbres et des arbustes. Les *Atriplex* sont des plantes halophytes dotées d'une série de caractères écologiques et physiologiques permettant la croissance et la reproduction dans un environnement salin.

### 3.2. Taxonomie, Botanique et physiologie :

Les espèces du genre *Atriplex* sont en partie spontanées dans nos régions et en partie introduites (**Le Houerou, 2000**). Selon **Rosas (1989)**, pratiquement toutes les espèces appartenant au genre *Atriplex* sont dioïques, il existe cependant des arbustes monoïques. Dans le cas d'*Atriplex deserticola*, les premières à éclore sont d'abord les fleurs mâles; la plante prend ainsi une couleur jaune caractéristique; les fleurs femelles éclosent dans un second temps.

Les formes des feuilles sont multiples: par exemple triangulaires de grandes dimensions, jusqu'à 6 cm de longueur, ovoïdales avec un apex aigu, ovoïdales avec un apex obtus, elliptiques d'une consistance herbacée, adaptées aux milieux de haute montagne. Les fleurs sont monoïques solitaires ou en glomérules, disposées au niveau de l'aisselle foliaire, mais aussi en épis terminaux. Les fleurs mâles sont dépourvues de bractéoles, avec un périanthe en 3-5 parties. Les fleurs femelles sont protégées par deux

bractéoles séparées ou à condescence au moins à la base, durs ou cartilagineux. Le périlanthe est absent ou rarement présent. Le fruit est contenu dans les bractées, le péricarpe est membraneux et normalement séparé des graines. La graine est droite, rarement horizontale, le péricarpe est farineux, la radicule se trouve en position basale, latérale ou apicale (**Rosas, 1989**).

### 3.3. Répartition des *Atriplex* dans le monde :

Les plantes du genre *Atriplex* sont présentes dans la plupart des régions du globe (**Ken et al., 1998**). Dans le monde, les *Atriplex* se rencontrent de l'Alaska à la Patagonie, de la Bretagne à la Sibérie et de la Norvège à l'Afrique du sud (**Francllet et Le Houerou., 1971**). Le nombre de ces espèces dans différentes régions du monde, est regroupé dans le tableau 1 :

**Tab.1 Répartition numérique des espèces d'*Atriplex* dans le monde (Le Houerou, 1992)**

<b>Pays ou régions</b>	<b>Nombre d'espèces et/ou sous-espèces</b>	<b>Pays ou régions</b>	<b>Nombre d'espèces et/ou sous espèces</b>
États-Unis	110	Baja Californie	25
Australie	78	(Mexique)	
Bassin méditerranéen	50	Afrique du nord	22
Europe	40	Texas	20
Ex. URSS	40	Afrique du sud	20
Proche orient	36	Iran	20
Mexique	35	Syrie	18
Argentine	35	Palestine & Jordanie	17
Californie	32	Algérie & Tunisie	17
Chili	30	Bolivie & Pérou	16

En Afrique du nord, d'après **Ouadah (1982)**, le genre *Atriplex* compte 15 espèces spontanées, 02 naturalisées et 02 introduites (**Tableau 2**) dont 07 vivaces, 01 bisannuelle et 09 annuelles.



**Tableau 2 : Les Atriplex en Afrique du nord (FAO, 1971)**

Espèces spontanées		Espèces naturalisées		Espèces introduites
Annuelles	Vivaces	Annuelles	Biannuelles	Vivaces
<i>A. chenopodioides</i>	<i>A. colorei</i>	<i>A. inflata</i>	<i>A. semibaccata</i>	<i>A. nummularia</i>
<i>A. dimorphostegia</i>	<i>A. coriacca</i>	-	-	<i>A. lentiformis</i>
<i>A. hastata</i>	<i>A. glauca</i>	-	-	-
<i>A. littoralis</i>	<i>A. halimus</i>	-	-	-
<i>A. patula</i>	<i>A. malvana</i>	-	-	-
<i>A. rosea</i>	<i>A. mollis</i>	-	-	-
<i>A. tatarica</i>	<i>A. portulacoides</i>	-	-	-
<i>A. tornabeni</i>	-	-	-	-

En Algérie, l'Atriplex est spontané dans les étages bioclimatiques semi aride et arides, les plus grandes superficies correspondent aux zones dites steppiques (Tébessa, Batna, M'sila, Boussaâda, Biskra, Djelfa, Tiaret, Saida...). Le genre Atriplex se rencontre aussi sur le littoral et même au Sahara, particulièrement dans la région de Béchar où les nappes longent les dépressions d'Oued (**Benrebih., 1987**).

Selon **Quezel et Santa, (1962)**, 13 espèces natives ont été dénombré en 1962 dont 5 pérennes et 8 annuelles. (**Tableau 3**).

**Tableau 3 : Répartition des différentes espèces en Algérie (Quezel et Santa, 1962)**

Espèces	Nom	Localisation
<b>Annuelles</b> (Diffèrent généralement par la forme des feuilles, le port et les valves fructifères)	<i>A. Chenopodioides</i> Batt.	Bouhanifia (Mascara) (très rare)
	<i>A. littoralis</i> L.	Aux environs d'Alger (rare).
	<i>A. hastata</i> L.	Assez commune dans le Tell et très rare ailleurs.
	<i>A. patula</i> L.	Assez commune dans le Tell et très rare à Aflou.
	<i>A. tatarica</i> L.	Annaba et Sétif (très rare)
	<i>A. rosea</i> L.	Biskra et sur le littoral d'Alger et d'Oran (très rare).
	<i>A. dimorphostegia</i> Kar et Kir.	Sahara septentrional (assez commune), Sahara central (rare).
	<i>A. tornabeni</i> Tineo.	Sahel d'Alger, Golfe D'Arzew (très rare).
<b>Vivaces</b> (Diffèrent généralement par la forme des feuilles, la taille de l'arbrisseau, le port des tiges et l'aspect du périanthe).	<i>A. portulacoides</i> L.	Assez commune dans le Tell.
	<i>A. halimus</i> L.	Commune dans toutes l'Algérie.
	<i>A. mollis</i> Desf.	Biskra et Oued-el-Khir (très rare).
	<i>A. coriacea</i> Forsk.	
	<i>A. glauca</i> L.	Commune en Algérie

### 3.4. Intérêts des Atriplex :

#### 3.4.1. Intérêt fourrager :

D'après **El-Shatnawi et Mohawesh, (2000)**, les Atriplex sont une source de minéraux, vitamines et protéines pour le bétail. Ce qui permet de les utiliser comme réserve fourragère en été et en automne, comblant la carence de fourrage qui se manifeste avant la croissance printanière des espèces fourragères

herbacées (**Kessler, 1990**). Selon **Le Houérou, (1980)**, différentes observations expérimentales ont démontrées que, grâce à Atriplex, le bétail peut supporter de longues périodes de carence alimentaire dues à la sécheresse. En effet une bonne formation d'*Atriplex halimus* peut produire jusqu'à cinq tonnes par hectare de matière sèche et par an sur des sols dégradés ou salins inutilisables pour d'autres cultures (**Dutuit et al., 1991**).

### **3.4.2. Intérêt écologique :**

Selon **Mulas et Mulas (2004)**, l'association de cultures de céréales à des arbustes fourragers qui, grâce à la capacité de leurs racines de s'enfoncer dans le sol, ont des effets bénéfiques sur l'environnement et le rétablissement de la fertilité de l'écosystème. En plus, les plantes du genre Atriplex jouent un rôle important comme brise-vent, pour la protection du sol et la création d'un microclimat favorable, permettant aux autres espèces fourragères (l'avoine, la luzerne...), d'augmenter leur productivité (**El Mzouri et al., 2000**). D'après **Abbad et al., (2004 b)** le système racinaire très ramifié, chez les Atriplex, joue un rôle important dans la réhabilitation des sols dégradés, la lutte contre l'érosion des sols et la désertification. Par ailleurs certaines espèces d'Atriplex, cas d'*Atriplex canescens* Purch Nutts. ont mycorhizées par des champignons fixateurs de phosphore (**Barrow et Osunda, 2002**). Ces champignons prélèvent du carbone à partir des racines de la plante et lui fournissent en échange du phosphore, elle augmente également la capacité d'absorption des racines ce qui augmente leur tolérance à la sécheresse (**Barrow et Osunda, 2002 ; Barrow et al., 2004**).

### **3.4.3. Intérêt médicinal :**

D'après **Dutuit et al., (1991)** l'*Atriplex halimus* L. est utilisé comme plante médicinale dans la pharmacopée traditionnelle. En effet elle agit sur la maladie du sommeil (trypanosomiase) (**Bellakhdar, 1997**), et elle possède également un effet antidiabétique notamment sur le diabète type 2. **Dey et al., (2002)** indique que 3g/Jour de feuille d'*Atriplex halimus* L. diminue le taux de glucose dans le sang. **Said et al., (2008)** rapportèrent que l'utilisation du « Glucoselevel », un médicament formé par l'association d'extraits de feuilles de 4 plantes à effet antidiabétique à savoir, *Atriplex halimus*, *Olea europea*, *Juglansregia* et *Urticadioica*, agit positivement sur le diabète type 2 et sans effets secondaires. L'Atriplex est une plante nutritive, riche en protéines, en vitamines C, A et D et sels minéraux (**Francllet et Le Houerou, 1971; Benrebiha, 1987**).

### 3.4.4. Intérêt économique :

Selon **Brandle, (1987)**, des cultures de céréales aux arbustes fourragers appartenant au genre *Atriplex*, augmentent de 25% la production de céréales. De plus en été et en automne, le bétail peut éventuellement brouter les chaumes d'orge et les arbustes d'*Atriplex* (**Mulas et Mulas, 2004**). Par ailleurs, la structure ligneuse des *Atriplex* constituent une source d'énergie intéressante (**Abbad et al., 2004b**).

## 4. L'espèce *Atriplex halimus* L.

### 4.1. Généralité :

L'*A. halimus* est la plante indigène la plus représentée sur le parcours méditerranéen. Elle ne couvre pas moins de 80.000 ha en Syrie, Jordanie, Egypte, Arabie Saoudite, Libye et Tunisie (**Martinez et al., 2003**). Elle se retrouve aussi en France, en Espagne, au Portugal, en Italie, en Grèce, en Albanie, à Malte, à Chypre, en Algérie, au Maroc, et en Afrique du Sud à des altitudes compris entre 0 et 1.000 m (**Castrovejo et al., 1990 ; Le Houerou, 1992**).

Selon **Ozenda, (1983)**, l'*Atriplex halimus* est une plante polymorphe, ce polymorphisme morphologique semble être une caractéristique des chénopodiacées, ce dernier se manifeste au niveau de la dimension et de la forme des feuilles, des valves fructifères, des graines (**Osmond et al., 1980**).

D'après **Kinet et al., (1998)**, l'*Atriplex halimus* L. est un arbuste natif d'Afrique du Nord où il est très abondant. Il s'étend également aux zones littorales méditerranéennes de l'Europe et aux terres intérieures gypso-salines d'Espagne. *Atriplex halimus* L. est un arbuste fourrager autochtone qui tolère bien les conditions d'aridité (sécheresse, salinité...) (**Souayah et al., 1998**). *Atriplex halimus* est un Arbuste de 1 à 3 m de haut, très rameux, formant des touffes pouvant atteindre 1 à 3 m de diamètre.

La capacité de cette espèce à se développer dans des conditions environnementales difficiles a contribué à son utilisation traditionnelle comme source d'émissions de fourrage et de broutage pour le bétail dans ces régions (**Walker et al., 2014**).

### 4.2. Systématique de l'espèce :

Selon **Chadefaud et Emberger (1960)** *Atriplex halimus* L. est classée comme suit :

- Règne : Végétal
- Sous règne : Phanérogames
- Embranchement : Spermaphytes
- Sous-embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones
- Sous classe : Caryophyllidées

- Ordre : Centrospermales
- Famille : Chénopodiacées
- Genre : *Atriplex*
- Espèce : *Atriplex halimus* subsp. *Halimus*

#### Noms Vernaculaires :

- ✓ **En Anglais:** Salt bush. Méditerranéen, Salt bush (Ortiz-Dorda et al., 2005).
- ✓ **En Français:** Pourpier de mer, Arroche maritime, Arroche sauvage, Arrochehalime (Picard et al., 1982).
- ✓ **En Arabe :** G'ttaf, (Legtaf) en Algérie القطف (Longuoet al., 1989).

#### 4.3. Description botanique et physiologique :

L'*Atriplex halimus* est une espèce très polymorphe, étalée sur toute la région méditerranéenne, les côtes de l'Atlantique et de la manche. Selon Kinet et al., (1998), l'*Atriplex halimus* est une plante native d'Afrique du nord. C'est une Arbuste de 1 à 3 m de haut, très rameux, multicaule, formant des touffes pouvant atteindre 1 à 3 m de diamètre (figure 1). Cette espèce peut avoir une allure dressée ou étalée, érigée ou intriquée (Mozafar et Goodin, 1970). Si elle n'est pas broutée par le bétail, cette espèce peut atteindre 4 m d'hauteur (Négre, 1961).

D'après Dutuit (1999), *Atriplex halimus* est une plante caractérisée par un important polymorphisme. Ce dernier se manifeste au niveau de la morphologie des structures végétales qu'au niveau des structures reproductives. La forme des feuilles d'*Atriplex halimus* peut correspondre à celle d'autres espèces du même genre. Il se manifeste au niveau de la dimension et la forme des feuilles des arbres fructifères et des graines, ainsi qu'un polymorphisme dans la production de la biomasse (Ben ahmed et al., 1996).

*A. halimus* est un grand arbrisseau très rameux (Pottier, 1981 ; Ben Ahmed et al., 1996). La plante adulte est très ramifiée, ayant un aspect blanc argenté, à tige dressée d'une couleur blanche-grisâtre, à racines s'orientant horizontalement, pivotantes en surface, pouvant atteindre 3 à 5 fois la longueur de la tige (mécanisme d'adaptation morphologique) (Benrebiha, 1987). La plante est dotée d'une biomasse aérienne et racinaire assez importante (Wills et al., 1990 ; Chisci et al., 1991).

Selon Le Houerou (1992), l'espèce *A. halimus* L. est divisée en deux sous-espèces : *halimus* et *schweinfurthii*. Cette division est basée sur les différences morphologiques et selon leur niche écologique.

- *Atriplex halimus* L. *subsp. halimus* se trouve en région littorale semi-aride à humide, c'est un arbuste généralement plus feuillu, au port érigé, très ramifié, pouvant atteindre trois mètres de hauteur (Ben Ahmed et al., 1996). Elle s'étend des zones semi-arides aux zones humides, elle est très commune le long des côtes du Bassin Méditerranéen (Mulas et Mulas, 2004).
- *Atriplex halimus* L. *subsp. Schweinfurthii* est caractérisée par des rameaux florifères, longs et nus, est plus strictement liée aux zones arides (Le Houerou, 1992). Cette sous-espèce est très répandue dans les zones arides et désertiques, elle résiste bien aux gelées jusqu'à des minima en janvier voisins de -12°C, notamment dans les hautes plaines steppiques de l'Algérie (Le flo'h, 1989).



Figure 1. Touffe d'*Atriplex halimus* L. (Anonyme, 2020)

#### 4.3.1 Graines :

- Les graines d'*Atriplex halimus* L. sont des akènes (Piotto et al., 2003).
- Un diamètre de 0.9 à 1.1 mm (Castroviejo et al., 1990).
- Lenticulaires, noires et disposées verticalement (sauf dans les fleurs hermaphrodites où elles sont horizontales) (Quezel et Santa, 1962).
- Elles sont entourées par des bractées dures et persistantes qui entravent la germination, menant aux problèmes d'indéhiscence et d'imperméabilité à l'eau et aux gaz. Ces bractées contiennent des substances qui inhibent la germination (Piotto et al., 2003).

- La suppression de ces bractées augmente la germination de 35 à 98% (**Unger et Ajmel khan, 2001**).
- La dormance apparente des graines est liée à la présence des deux bractées entourant l’ovaire qui accumulent des substances inhibitrices de la germination (**Khadre, 1994**).
- Le meilleur prétraitement pour augmentation de la capacité germinative des graines est leur lavage à l’eau courante pendant 24h et une scarification chimique avec l’acide sulfurique ou mécanique (blessure de la coque) (**Papanastasis et al., 2002**).
- Elles sont d’une très grande légèreté, leur dissémination se fait par le vent ou par les animaux (**Pitt, 2004**).
- Les graines peuvent rester viables pendant 3 à 10 ans et garder une faculté germinative estimée entre 50 et 90 % si elles sont stockées au sec et au frais (**Piotto et al., 2003**).



**Figure 2 :** Graines d’*Atriplex halimus* L. décortiquées. (**Anonyme, 2020**)

#### 4.3.2 Racines :

- Le système racinaire pivotant présente un fort développement chez *A.halimus* L. il se caractérise par une grosse racine tout d'abord étalée oblique puis s'enfonçant verticalement jusqu'à une profondeur variable avec l'âge de la plante (**Le Houerou, 1992**).
- Elle peut atteindre 3 à 5 fois la longueur de la tige. Elle est formée de racelles blanchâtres , d'une racine principale de 50 à 90 cm de profondeur, avec des rares racines secondaires de même longueur et par fois plus longues d'où elle sortent plusieurs racines tertiaires, fines et courtes (**Garcia et al., 1996 ; Bock, 2009**).
- S'enraciner profondément leur permet d'atteindre des ressources d'eau indisponibles à l'espèce, fixant les couches supérieurs du sol et peut être utilisée comme moyen de lutte contre la désertification (**Ben Salem et al., 2002; Belkhodja et Bidai, 2004**).
- *L'Atriplex halimus* L. possèdent un système racinaire très développé, qui permet d'utiliser les réserves d'eau du sol et de former un réseau dense susceptible d'agrèger le sol et de le rendre résistant à la l'érosion (**Dutuit et al., 1991**).

#### 4.3.3. Tiges :

- Espèce très ramifiée, en touffes pouvant atteindre 2 m de hauteur et 1 m de diamètre, avec des rameaux dressés (**Aganga et al., 2003**).
- Possède des rameaux dressés qui sont érigés et ligneuses avec des branches étalées, très rameuses d'une couleur blanche-grisâtre plus au moins anguleuses entièrement feuillées (**Negre, 1961 ; Quezel et Santa, 1962; Bonnier et Douin, 1996 ; Osman et Ghassali, 1997**).

#### 4.3.4. Feuilles :

- Les feuilles d'Atriplex sont alternes, brièvement pétiolées. Elles sont grandes sur les jeunes pousses de printemps atteignant 5 à 6 cm, et très petites sur les rameaux florifères de l'automne (**Pottier, 1981 ; Aganga et al., 2003**).
- Elles sont de couleur gris-vert argentée, caractéristique due au développement de vésicules à sels sur les cellules de leur épiderme (**Mulas et Mulas, 2004**).



- Elles sont plus épaisses, pratiquement cartilagineuses, recouvertes d'un épais duvet et de cristaux de sels qui peuvent former un pseudo-tissu qui entoure le limbe foliaire des deux côtés (**Mulas et Mulas, 2004**).
- Les plantes d'*Atriplex* sont capables d'accumuler de grandes quantités de sels dans leurs tissus et plus particulièrement dans les trichomes situés à la surface des feuilles (**Mozafar et Goodin, 1970**).

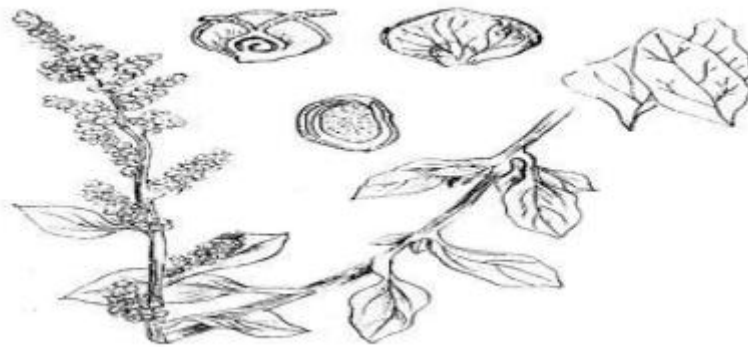


**Figure 3** : Feuilles d'*Atriplex halimus* L. (**Anonyme, 2020**).

#### **4.3.5. Fleurs :**

- *L'Atriplex halimus* L. est une espèce chamephyte ou monophanérophyte fleurissant, dont la fructification a lieu à partir du mois d'avril jusqu'à novembre (**Negre, 1961 ; Ben Ahmed et al., 1996**).
- Cette espèce a été considérée comme monoïque ou dioïque. Chez cette espèce, un seul individu peut porter à la fois des fleurs unisexuées mâles, ou femelles, et peuvent être aussi bisexuées. *L'A. halimus* L. se révèle donc polygame, plus particulièrement tri monoïque (**Talamali et al., 2001**).
- Les fleurs, peu visibles et regroupées en inflorescences en épi ou à cyme, sont petites, hermaphrodites ou unisexuelles, la pollinisation par le brise vent, de couleur jaunâtres (**Pottier, 1981 ; Rosas, 1989**).

- les pétales et les sépales, très semblables, sont généralement regroupées par cinq, des fleurs mâles à cinq pétales et cinq étamines (**Rosas, 1989 ; kinet et al., 1998**).
- il existe deux types d'architecture florale de base, l'une est constituée de fleurs mâles pentamères et l'autre de fleurs femelles munies d'un unique carpelle inséré entre deux bractées opposées (**Talamali et al., 2001**).
- Les bractées fructifères entourant l'ovaire sont réniformes à sub-orbiculaires, entières ou dentées, et ont une surface dorsale lisse (**Castroviejo et al., 1990**).



**Figure 4** : Rameau feuillu avec inflorescence et fruit (**Bou Abdallah, 1992**).

## 5. Composition chimique :

Selon **Chikhi et al., (2014)**, *A. halimus* est une source de vitamines A, C et D. Elle contient des tanins, des flavonoïdes, saponines, alcaloïdes et résines. En plus, *A.halimus* renferme jusqu'à 10% de chlorure de sodium.

## Chapitre II : EFFETS DES STRESS ABIOTIQUES SUR LES VEGETAUX

### 1. Définition de stress :

Un stress est l'ensemble des perturbations biologiques provoquées par une agression quelconque sur un organisme. C'est un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant (**Levitt 1980**). Selon **Leclercl, (1999)** la notion de stress biologique est le changement plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante ou de l'animal, et la réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie laquelle change sensiblement avec l'adaptation à la nouvelle situation, à la limite de dégradation menant à une issue fatale.

Le stress représente aussi un ensemble de conditions qui provoquent des changements de processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement. C'est aussi une force ou influence hostile qui tend à empêcher un système normal de fonctionner (**Jones et al., 1989**). D'après **Grime(1979)**, au niveau d'un écosystème par exemple, toute contrainte externe qui limite la productivité en dessous de la potentialité génétique d'une plante peut être considérée comme stress.

### 1.1. Les différents types de stress :

On peut distinguer deux types du stress dans la nature :

- **Un stress biotique** : dus à une agression par un autre organisme : insectes, animal,...Etc.
- **Un stress abiotique** : selon **Hopkins, (2003)**, les plantes en général exigent des conditions environnementales optimales pour une croissance normale, mais elles sont souvent sujettes à des facteurs extrêmes de potentiels hydriques, température et salinité, qui engendrent différents types de stress.

Les dommages sont étroitement liés à deux facteurs : L'intensité du stress et sa durée d'explosion. Dans ces conditions défavorables, les plante développe des stratégies d'adaptation (**Hopkins, 2003 ; Gregory, 2005**). En 1980, **Hamza** découvre que les plantes développent des stratégies d'adaptation pour répondre aux chocs chimiques ou physiques engendrés par l'environnement en contrôlant et ajustant leur système métaboliques.

On peut citer quelques types des stress abiotiques qui peuvent affecter les végétaux :

### **1.1.1 Le stress hydrique :**

Selon **Hopkins (2003)**, le stress hydrique provoqué par un déficit en eau constituant un menace permanent pour la survie des plantes, néanmoins, beaucoup d'entre elles produisent des modifications morphologiques et physiologiques qui leurs permettent de survivre dans les régions de faible pluviosité et dont la teneur en eau des sols est peu élevée.

### **1.1.2 Le stress thermique**

La sensibilité des plantes aux températures extrêmes et très variable, certaines sont tuées ou lésées par des baisses modérées de température, alors que d'autres parfaitement acclimatées, sont capables de survivre au gel. Le stress par de hautes températures induit la synthèse de protéines particulières. Chaque plante exige une température optimale de croissance et de développement, qui ne peuvent se dérouler qu'entre des limites supérieures et inférieures. Lorsque la température avoisine ces limites, la croissance diminue et au-delà elle s'annule. Trois types de températures extrêmes peuvent causer des dégâts aux plantes : le froid, le gel et les températures élevées (**Mazliak, 1995; Heller et al., 1998; Hopkins, 2003**).

### **1.1.3 Le stress salin :**

En **1980, Hamza** indique que la présence de fortes concentrations de sels dans le milieu crée une pression osmotique élevée dans l'environnement racinaire, réduisant la disponibilité de l'eau du sol pour la plante. Selon **Zhu, (2001) ; Rontain et al., (2002)**, le stress salin, comme beaucoup d'autres stress abiotiques, inhibe la croissance des plantes. Les concentrations élevées en sel causent un déséquilibre des ions.

## **2. Les effets du stress hydrique sur les plantes :**

### **2.1. L'eau, le sol et les plantes :**

#### **2.1.1. Etat de l'eau dans la plante :**

D'après **Mazliak, (1981)** dans la plante, l'eau se trouve à l'état liée (immobilisée) dans la cellule, à l'opposé de l'eau libre (d'imbibition) facilement circulante, en plus de ces catégories, on retrouve de l'eau de constitution, stabilisant la structure tertiaire de certaines macromolécules protéiques et ne pouvant absolument pas être enlevées de ces protéines sans en entraîner la dénaturation.

### 2.1.2. Rôle et importance de l'eau dans la plante :

L'eau est un élément vital, outre son rôle dans la photosynthèse, le transport et l'accumulation des éléments nutritifs ainsi que dans la division cellulaire et la régulation thermique, l'eau joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes cultivées (**Riou, 1993**). Les besoins de la plante se limitent à l'eau et aux substances minérales du sol, ainsi qu'au CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> de l'atmosphère. La grande quantité d'hydrogène et d'oxygène des constituants de matière sèche provient de l'eau, il reste donc une source alimentaire directe (**Gate, 1995**).

Selon **Guignard, (1979) ; Kirkham, (2005)** l'eau est le constituant pondéralement le plus importante des végétaux (50% à 90% de leur masse de matière fraîche). Elle est le milieu dans lequel a lieu la quasi-totalité des réactions biochimiques, de substrat et de catalyseur. Par la pression qu'elle exerce sur les parois, l'eau permet la turgescence cellulaire qui est indispensable au port érigé des plantes herbacées et à l'expansion cellulaire dans les tissus en croissance. La turgescence et maintient les structures cellulaires et en particulier de la structure colloïdale du cytoplasme. Elle permet aussi le déroulement du métabolisme de la plante. L'eau transporte les substances nutritives depuis le sol jusqu'à la partie aérienne à travers les vaisseaux conducteurs de xylème (**Laberche, 2004**). De même, elle contribue au refroidissement de la plante par la transpiration et joue le rôle de solvant en donnant une grande rigidité aux tissus végétaux (**Kiès, 1977**).

Selon **Heller et al., (1998)** à l'échelle cellulaire, l'eau participe au maintien des structures et permet le déroulement du métabolisme. Par la pression de turgescence qu'elle exerce sur les parois, elle contribue au maintien du port des végétaux, qui sans elle flétrit. Cette pression commande divers mouvements d'organes (feuilles et étamines) et de cellules (stomates), elle participe à l'allongement cellulaire au niveau de l'organisme et sert de véhicule aux substances nutritives, déchets et hormones. Outre son rôle dans la photosynthèse, dans le transport et l'accumulation des éléments nutritifs ainsi que la division cellulaire et la régulation thermique, l'eau joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes (**Slama et al., 2005**), elle est aussi indispensable au bon fonctionnement des protéines (**Richter, 1993**). En **1999, Leclerc**, note que la richesse en eau des plantes est variable selon les espèces, les organes et les milieux de vie. Au niveau de l'organisme elle sert à véhiculer les substrats nutritifs, déchets et hormones, le fonctionnement de la plante nécessite que l'eau qui s'évapore par la transpiration, soit remplacée par l'eau absorbée par les racines au niveau du sol. Essentiellement l'entrée et la circulation de l'eau dans la plante résultent d'un mécanisme passif, l'osmose (**Heller et al., 1998**).

L'équilibre hydrique de la plante passe par une perte de vapeur, un phénomène nommée transpiration. Si l'absorption de l'eau par la plante est inférieure à la demande évaporatrice de l'atmosphère, on parle alors

d'une situation de déficit hydrique (Acevedo, 1991 b; Blum, 1996) et par conséquent, les processus physiologiques commencent à être affectés.

#### ❖ Circulation et compartimentation de l'eau dans la plante :

D'après Martre, (1999), la plante rejette continuellement par son feuillage de l'eau dans l'atmosphère, rejet qu'elle doit compenser en absorbant de l'eau au niveau du sol. L'évaporation à l'interface des feuilles génère des tensions capillaires dans les parois pectocellulosiques des cellules du mésophylle.

La cellule se procure alors de l'eau auprès de sa voisine et ainsi de suite, jusqu'à ce que finalement la jonction se perpète dans la feuille avec l'extrémité d'un vaisseau. Ces tensions créent un gradient de potentiel hydrique dans la feuille qui se propage jusqu'aux racines par l'intermédiaire des vaisseaux du xylème. Cette théorie de l'ascension de l'eau est appelée théorie de la tension-cohésion ; tension, car c'est la "force" qui crée l'ascension de l'eau ; cohésion, car c'est la cohésion des molécules d'eau entre elles, grâce à des liaisons hydrogènes (Steudle, 1995). La racine est une structure composite où l'eau et les solutés suivent différents trajets parallèles (apoplasme, symplasme, vacuolaire) à travers différents tissus arrangés en série (épiderme, cortex, stèle). Le cheminement de l'eau à travers la plante depuis l'interface sol/racine jusqu'aux surfaces d'évaporation se déroule en phase liquide et comprend trois étapes. Dans la première, l'eau circule de cellule à cellule (voie symplastique) ou dans les parois cellulaires (voie apoplastique) depuis la surface des racines jusqu'aux vaisseaux du cylindre central. Elle circule ensuite dans les conduits du xylème avant un nouveau trajet extravasculaire dans les parties aériennes de la plante.

L'eau peut alors avoir trois destinations,

(i) elle peut être perdue par transpiration,

(ii) ou bien participer aux variations de volume d'eau des tissus matures,

(iii) ou encore participer à l'expansion cellulaire dans les tissus en croissance.

Les trajets extravasculaires s'effectuent sur des distances très courtes (quelques millimètres) mais correspondent à des résistances importantes. Le trajet xylémien, au contraire, s'effectue sur des longues distances (jusqu'à plusieurs mètres), mais correspond à des résistances faibles (Danielle et Mazliak, 1995; Heller et al., 1998; Martre, 1999; Hopkins, 2003).

#### 2.1.3. L'eau dans le sol :

L'eau du sol a une fonction considérable, d'une part elle intervient dans la nutrition des plantes en tant que véhicule des éléments nutritifs dissous, de plus, c'est un des principaux facteurs de la pédogenèse qui conditionne la plupart des processus de formation des sols. Les sources principales de l'eau du sol sont

l'eau de précipitation, et dans certaines stations, l'eau souterraine (nappe phréatique permanente, alimentée souterrainement) (**Duchaufour, 1995 ; Gobat et al., 2003**).

En **1995**, **Duchaufour** a montré que les mouvements de l'eau dans le sol relèvent de deux processus opposés : les mouvements descendants de l'eau de gravité, qui s'infiltré après les pluies, les mouvements ascendants, beaucoup plus limités, qui interviennent en saisons sèches et compensent de manière imparfaite les pertes par évaporation (ou évapotranspiration). La répartition de l'eau en profondeur dans le sol est la résultante de ces deux processus.

Pour distinguer les qualités hydriques d'un sol, il faut prendre en compte, les forces osmotiques ; les forces matricielles ; et enfin, l'eau de constitution présent dans certains complexes chimiques, et inaccessibles aux plantes (**Danielle et Mazliak, 1995 ; Heller et al., 1998 ; Hallaire, 1999**).

#### **2.1.4. Transpiration et croissance:**

Selon **Heller et al., (2004)**, la transpiration peut être définie par la perte d'eau sous forme de vapeur par la plante. La plus grande partie (plus de 90%) s'échappe par les feuilles. En effet le mécanisme de la transpiration est étroitement lié à l'anatomie des feuilles. La transpiration correspond d'un point de vue physique à une évaporation. La transpiration exige donc un apport d'énergie fourni essentiellement par le rayonnement incident, elle dépend, en outre, de la température et de l'hygrométrie de l'air, de la forme et de la disposition des feuilles, des résistances à la diffusion des gaz opposés par les stomates et par la couche limite d'air qui entoure les feuilles (**Priault, 2006**). D'après **Hopkins, (2003)**, la transpiration est une conséquence de la photosynthèse du fait qu'il existe une forte dualité entre la transpiration et la photosynthèse puisque le CO<sub>2</sub> et l'eau empruntent le même trajet. Les interactions entre la transpiration et la croissance sont multiples et complexes. Toutefois, de manière globale, toute régulation du fonctionnement de la plante ayant pour effet de réduire la transpiration à température constante est accompagnée d'une augmentation de la vitesse de croissance et vice versa (**Boyer, 1985**).

## **2.2 Stress hydrique :**

### **2.2.1. Notion de stress hydrique :**

Selon **Lamaze et al., (1994)** le stress hydrique est assimilé à une baisse de la disponibilité de l'eau. Elle se traduit par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype. La contrainte hydrique est le facteur ou l'ensemble des facteurs ayant pour conséquence le stress. En **2004**, **Laberche** note que le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement,

sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire.

### **2.2.2. La sécheresse :**

Selon **Hufty, (2001)**, le terme sécheresse caractérise une situation temporaire, ou saisonnière, de déficit en eau qui peut se produire sous des conditions climatiques humides, comme le climat océanique. On distingue la sécheresse relative, représentant le manque d'eau par rapport aux besoins locaux, de la sécheresse absolue, caractérisée par une absence d'eau. A partir de cette définition générale, on peut spécifier plusieurs types de sécheresses (**Lambert, 1996**) :

- **Météorologique ou (atmosphérique)** : caractérisée par un déficit de précipitations sur une période déterminée par le climat d'une région.
- **Pédologique, agricole ou édaphique** : qui est la conséquence d'une sécheresse atmosphérique importante. On observe dans ce cas un déficit anormal de l'humidité du sol (réserve hydrique) entraînant un stress hydrique pour la végétation en place.
- **Hydrologique** : qui fait suite à une sécheresse pédologique avancée. L'assèchement des sols peut conduire à un étiage plus ou moins sévère des cours d'eau, ainsi qu'à une baisse du niveau des nappes souterraines et des retenues.

Selon **Monneveux et This, (1997)**, la sécheresse est l'un des principaux facteurs limitant des rendements à travers le monde, le manque d'eau, souvent associé à d'autres stress abiotiques est responsable de pertes de rendements très importantes.

### **2.2.3. Contraintes hydriques :**

En **2000 Tardieu**, a indiqué que chez les végétaux, résistance à la sécheresse et croissance ne sont pas toujours compatibles. La transpiration des plantes est essentielle au maintien de la température et à la circulation de la sève. Une plante peut perdre jusqu'à trois fois son poids en un jour d'été. Lorsqu'elle ne peut plus prélever cette eau dans le sol, elle doit ralentir sa transpiration en fermant ses stomates. Elle évite ainsi la déshydratation, mais réduit considérablement sa photosynthèse. En réalité, les racines synthétisent une hormone, l'acide abscissique ou (ABA), d'autant plus rapidement que le sol est sec. L'ABA circule dans la sève brute du xylème et entraîne selon sa concentration la fermeture partielle ou totale des stomates.



Une diminution de la disponibilité en eau du sol et une remontée de sel, font que les stratégies de survie varient d'une espèce à l'autre. En effet, ce sont les limites de la tolérance des organismes aux stress écologiques qui détermine en fin de compte les endroits où ils peuvent vivre (**Dajoz, 1996**).

#### **2.2.4. Les conséquences du déficit hydrique sur les plantes :**

- Le déficit hydrique réduit la taille des feuilles, leur surface verte, la durée du cycle et par conséquent la capacité photosynthétique se déprime (**Turner et al., 1987 ; Martre, 1999, Enixon, 2004**), et d'autres changements incluent l'épaississement des parois cellulaires, la cutinisation de la surface foliaire et un mauvais développement du système conducteur (**Chernyad'ev, 2005**).
- En général, l'essentiel de la diminution de la photosynthèse due au stress hydrique est attribué à la fermeture des stomates (**Boyer, 1970**).
- Le manque d'eau provoque l'avortement des organes sexuels, la chute des fleurs, des fruits et même des feuilles en commençant par les plus âgées. (**Turner, 1979 ; Turner et al., 1986 ; Upadhayaya et Furnes, 1994 ; Venora et Calcagno, 1991**).
- La photosynthèse provoque l'augmentation de la synthèse d'ABA et des concentrations des solutés dans les tissus sous le stress hydrique (**Lauer et Boyer, 1992; Enixon, 2004**).
- L'acide abscissique (ABA) qualifié « hormone de stress » est synthétisée rapidement et semble avoir un rôle important dans la réponse au stress, dans l'inhibition de la photosynthèse et le ralentissement de la croissance des feuilles (**Maruyama et Boyer, 1994; Lefebvre, 2005**).
- Affecte le métabolisme des hydrates de carbone avec une accumulation des sucres et d'autres composés organiques (**Wang et Stuttle, 1992 ; Kiniry, 1993, Al Hakimi et al., 1995**).
- Provoque une diminution de la teneur des lipides foliaires notamment les lipides des membranes chloroplastiques, et une modification de leur composition (**Miller et al., 1996 ; Priault et al., 2007**).
- Forte perturbation du fonctionnement cellulaire et une réduction de la perméabilité sélective, ce qui influence les échanges moléculaires intra et intercellulaires et le transport d'électrons (**Taiz et Zeiger, 2002; Priault, 2006**)

- Le manque d'eau crée une diminution de contenu en protéines dans les feuilles, et une diminution du pool protéique causé par l'inhibition de la synthèse et l'augmentation du catabolisme suite à l'activité hydrolytique accrue (**Thompson, 1980 ; Kusaka et al., 2005**).
- La sécheresse conduit à une perte de la compartimentation et à une destruction de certains organites cellulaires. Les crêtes mitochondriales se dégradent et les chloroplastes perdent leur organisation moléculaire (**Priault, 2006**).
- La plante ferme ses stomates pour réduire ses pertes en eau. Cette fermeture va entraîner des modifications physiologiques, morphologiques et phénologiques, à cause de cette fermeture l'entrée du CO<sub>2</sub> est également difficile provoquer par conséquence une perturbation de l'activité photosynthétique, et aussi une bonne part de l'énergie destinée à être dissipée par transpiration, ce qui a pour conséquence l'augmentation de la température foliaire (**Kotchi, 2004**).
- La réduction de l'activité photosynthétique peut être causée par des : facteurs stomatiques (fermetures des stomates), des facteurs non stomatiques (diffusion du CO<sub>2</sub> vers les sites de réduction, inactivation des enzymes de l'incorporation du CO<sub>2</sub>) et des facteurs liés à la redistribution des néo-assimilats (**Matteheews et Boyer, 1984 ; Seeman et al., 1987; Vassey et al.,1991**).
- Provoque une diminution de la demande en CO<sub>2</sub> dont la concentration demeure relativement élevée à l'intérieur de la feuille. Ces effets sont le reflet de lésions de membranes thylacoïdales et de la protéine ATP synthétisée (**Benlaribi, 1990 ; Kromer, 1995**), aussi une diminution de la teneur en pigments photosynthétiques (chlorophylles et caroténoïdes), des changements du rapport chlorophylle (a/b), des altérations des feuilles et des structures des chloroplastes, inhibe les réactions claires et sombres de la photosynthèse, et empêche la biosynthèse des protéines cellulaires. (**Chernyad'ev, 2005**).
- Le manque d'eau a aussi un effet direct sur la température de la végétation, il peut approuver une perte de qualité et de rendement dans la production agricole (**Kotchi, 2004**).
- Le déficit hydrique réduit la croissance à travers l'inhibition des différents processus physiologiques et biochimiques (**Kramer, 1980; Chaves, 1991**).

- La vitesse d'allongement foliaire diminue encore plus, cette réduction supplémentaire de la vitesse d'allongement est directement liée à la demande évaporatoire ou à l'état hydrique des feuilles matures (**Ben haj salah et Tardieut, 1997**).
- La résistance à la sécheresse dépend de l'aptitude de la plante à développer un système racinaire importante et à limiter ses pertes d'eau cuticulaires et stomatiques (**Hopkins, 2003; Zhang et Chen, 2004; Adda, 2006**).
- Le déficit hydrique peut également diminuer la pression de la turgescence de la plante et par conséquent provoquer une perte d'eau du contenu cellulaire. Cette perte peut engendrer des effets physiologiques très important (**Gate, 1995**). Ces réactions au déficit hydrique ont un rôle effectif dans l'acquisition de la tolérance.

#### **2.2.5. Différentes formes de réponses des plantes au stress hydriques :**

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu (Esquive, évitement et tolérance) (**Turner, 1986**). Selon **Madhava et al., (2006)**, la résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique par sa capacité à survivre et à s'accroître, et du point de vue agronomique par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles. Selon **Hsissou, (1994)**, la résistance globale d'une plante au stress hydrique apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de production.

##### **2.2.5.1. Adaptations phénologiques :**

L'esquive permet à la plante de réduire ou d'annuler les effets de la contrainte hydrique par une bonne adéquation de son cycle de culture à la longueur de la saison des pluies (**Amigues et al., 2006**). **Ben Naceur et al., (1999)** notent que pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de stress hydrique. La précocité constitue un important mécanisme d'évitement au stress hydrique de fin de cycle.

En **1999**, **Bajji** ajoute que la précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs. La

précocité peut donc être utilisée comme critère de sélection pour améliorer la production dans les zones sèches. C'est l'un des traits les plus importants dans l'adaptation des plantes au stress hydrique (**Ben Salem et al., 1997**).

#### **2.2.5.2. Adaptations morphologiques :**

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine des plantes (**Slama et al., 2005**).

##### **❖ Système racinaire :**

Selon **Turner (2001)**, l'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines est parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou plus exactement de retarder la déshydratation de ses tissus. Le système racinaire capable d'extraire l'eau du sol est une adaptation essentielle pour la tolérance à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière sur les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques de fin de cycle. (**Subbarao, 1995**). D'après **Hsiao et Acevedo, (1974)**, dans certains cas, le déficit hydrique semble augmenter la croissance racinaire non seulement par rapport aux parties aériennes mais aussi dans l'absolu. Les systèmes racinaires profonds agissent pour équilibrer les oscillations de disponibilité d'eau (**Sala et Tenhunen, 1996**).

##### **❖ Surface foliaire :**

La réduction de la surface foliaire, quand le stress hydrique est très important, est un mécanisme de réduction des besoins en eau [**Perrier et al., (1961) in : O'toole et Cruz (1980)**]. **Sala et Tenhunen, (1996)**, une diminution de la surface foliaire exposée est citée comme une réponse à long terme des plantes méditerranéennes à l'intensité et à la durée de la période sèche.

#### ❖ Réduction du nombre de feuilles :

D'après **Harouni (1995)**, chez certaines espèces une réduction au niveau de la production des feuilles sous des régimes hydriques différents est observée. Ces résultats sont en accord avec ceux de (**Tazi et al., 2003**) sur la diminution de la croissance de la partie aérienne qui est accompagnée d'une réduction au niveau du nombre de feuilles.

#### 2.2.5.3. Adaptations physiologiques :

##### ❖ Processus photosynthétique :

En **2003**, **Chaves et al.** notent que la diminution de la photosynthèse observée en réponse à un déficit hydrique modéré atmosphérique et /ou du sol (Teneur en eau relative entre 70% et 75%) est initialement due à la fermeture stomatique. D'après **Chaves et Oliveira, (2004)** la concentration de CO<sub>2</sub> intercellulaire diminue en réponse à la fermeture stomatique, alors que la capacité photosynthétique est maintenue. En même temps, la teneur en amidon diminue et celle des sucres réducteurs est maintenue ou même augmente. Les événements primaires de la photosynthèse comme la capacité du transport d'électron sont très résistants à la sécheresse (**Cornic et al., 1989**).

##### ❖ Teneur en chlorophylle :

Selon **Slayter, (1974)** sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez la plante pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO<sub>2</sub> atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une dilution de la chlorophylle. Le rapport chlorophylle (a/b) est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress hydrique (**Guettouche, 1990**). L'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress est suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b) (**Tahri et al., 1997**).

#### 2.2.5.4. Adaptations biochimiques :

##### ❖ Ajustement osmotique :

**Brisson et Delecolle (1992)** montrent que le stress hydrique provoque la mise en place d'un état de régulation hydrique de la plante qui se manifeste par la fermeture stomatique et par une régulation du potentiel osmotique. L'ajustement osmotique est généralement considéré comme un élément important dans la tolérance des plantes au stress hydrique (**Bajji et al., 2001**). Il implique l'accumulation, au niveau cellulaire, de sucres, d'acides aminés (la proline), d'ions ou d'autres solutés compatibles non toxiques (**Nouri et al., 2002**). Dans la vacuole, l'ajustement est essentiellement effectué par accumulation d'ions potassium. Ceci implique des circulations d'ions à travers les membranes de la cellule, il s'agit d'une adaptation qui se repose sur la biosynthèse de différentes substances organiques régulées par des canaux et des transporteurs de potassium et de sodium (**Abeles, 2003**).

##### ❖ Synthèse d'osmoprotecteurs :

##### ❖ Accumulation de la proline :

Dans le cas d'une sécheresse, l'accumulation de la proline apparaît comme une des premières manifestations de la résistance du végétal (**Handa et al., 1986**). L'accumulation de la proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique. Elle est liée à l'osmorégulation cytoplasmique (**Acevedo et al., 1989**). Cette accumulation soumise à des contraintes physiques a fait l'objet de nombreuses études et a même été préconisée par plusieurs auteurs comme test précoce de sélection par la tolérance au déficit hydrique (**Mc Michel et Jan, 1977**).

##### ❖ Les Bétaines :

Selon **Hanson, (1995)**, les Bétaines sont des composés ammoniums à petites molécules non toxiques jouant un rôle majeur dans l'ajustement osmotique du cytoplasme des plantes en réponse au stress hydrique. Ce sont des composés ayant des propriétés d'osmorégulation très marquées. Leur niveau d'accumulation dans les feuilles des plantes stressées est deux à dix fois supérieur à celui des non stressées (**Hanson et al., 1985; Robinson et al., 1986 in Bouchnak, 2014**).

€Parmi les composés ammonium quaternaires qui s'accumulent chez les plantes supérieures il existe : la glycine bétaine et la choline-o-sulfate. La plupart sont méthyles, la glycine bétaine est une amine quaternaire qui est présent chez les plantes supérieurs, les micro-organismes et les animaux (**Rhodes, 1993 in Bouchnak, 2014**). La perturbation de la structure des protéines est causée par la mise en contact avec des solutés non compatibles aux forces thermodynamiques de contact minimales recherchées par les protéines lors du repliement tertiaire et l'assemblage quaternaire de ces protéines et par ajustement de l'équilibre osmotique du cytoplasme afin d'assurer le maintien de la quantité d'eau à l'intérieur de la cellule.

La synthèse de la glycine bétaine dans le chloroplaste des plantes débute par la conversion d'une choline en bétaine aldéhyde par la choline mono oxygénase (**Brouquisse et al., 1989**). En **2005 krish et al.**, montrent que l'expression de certains membres d'aldéhydrogénase était induite en condition de stress osmotique .

#### ❖ Les Sucres et leurs dérivés les polyols :

Lors un déficit hydrique, les réserves amylacées sont progressivement utilisées et pourrait être un facteur de tolérance au manque d'eau. Lorsque la contrainte hydrique cesse, la feuille reconstitue les réserves d'amidon et si une nouvelle contrainte hydrique intervient, le temps d'adaptation est plus court (**Bensari et al., 1990**).

Beaucoup d'autres auteurs ont mis en évidence le rôle protecteur des sucres solubles dont le saccharose, glucose, fructose sur les membranes, en particulier mitochondriales (**Fernandes et al., 2004**). Leur présence permettrait le maintien des réactions de phosphorylation et de production d'énergie.

D'après **Fernandes et al., (2004)**, le rôle protecteur des membranes, les hydrates de carbone protègent les processus par les quelles les enzymes sont synthétisés, ce qu'impliquerait une meilleure tolérance de la plante à la dessiccation et une meilleure résistance à la sécheresse.

### 3. La salinité :

#### 3.1. Généralité sur la salinité :

Le stress salin est défini comme une concentration excessive en sel. Ce terme s'applique principalement à un excès d'ions, en particulier  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  (**Hopkins, 2003**). D'après **Slama (2004)**, la salinité est la quantité globale de sels solubles contenus dans l'eau d'irrigation ou dans la solution du sol. Cette définition tient compte du fait que, les ions des sels solubles retiennent l'eau et sont à l'origine de la

pression osmotique qui s'élève lorsque leur concentration augmente. L'accumulation de ces sels dans le sol affecte les rendements et peut détériorer les terres de façon irrémédiable (**Warrence et al., 2002**). Dans les zones arides et semi arides, la contrainte saline s'associe souvent au déficit hydrique qui limite la production des espèces végétales (**Ben Khaled et al., 2003**).

Selon **Asloum, (1990)**, la salinité des sols est la présence de concentration excessive de sels solubles ou lorsque les concentrations en  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  sous forme de chlorures, carbonates ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées. Un sol salé indique la prédominance de  $\text{NaCl}$ . La salinité a plusieurs origines naturels (la roche mère, la nappe phréatique, les faibles précipitations, les fortes évapotranspirations...) et/ou anthropique (l'irrigation avec des eaux saumâtres, la minéralisation du fumier, les engrais minéraux...) (**Le Houérou, 1986 ; Kalaji et Pietkiewitz, 1993 ; Levigneron, 1995 ; Slama, 2004**). Ce phénomène d'accumulation des sels solubles (en particulier le sodium) à la surface du sol et dans la zone racinaire, occasionne des effets nocifs sur les végétaux qui vont induire une diminution des rendements et une stérilisation du sol (**Mermoud, 2001**).

### **3.2. Les types de la salinisation :**

**Maillard, (2001)**, bien que l'altération des roches et les minéraux primaires soit la principale source de tous les sels, les sols salés sont rarement formés par accumulation de sels in situ. Plusieurs causes sont à l'origine de ce phénomène.

D'après **Chretien, (1992)** la salinisation des sols se manifeste par deux voies qui sont :

- **Salinisation primaire :**

Près de 80% des terres salinisées sont héritées des conditions naturelles, elles sont qualifiées de «salinisation primaire», cette dernière est due à la formation de sels lors de l'altération des roches ou à des apports naturels externes. La migration et le dépôt des sels solubles dépendent de l'intensité et de la répartition de précipitations, du degré de porosité du sol et autres caractéristiques du milieu naturel (**Mermoud et Musy, 2006**).

- **Salinisation secondaire :**

Près de 20% des terres salinisées ont une origine humaine ou anthropique, celles-ci sont qualifiées de «secondaires» dû principalement à l'irrigation des terres avec une eau de mauvaise qualité (eau saline), un lessivage insuffisant et un drainage défaillant (**Le Goupil, 1974**). Cette salinité concerne des surfaces plus réduites que la salinité primaire mais à des conséquences économiques plus importantes car elle peut dégrader gravement la fertilité du sol (**Antipolis., 2003**).



### 3.3. Principaux sels solubles :

Les principaux sels solubles qui participent dans la formation des sols salés sont :

**Les carbonates** : les plus rencontrés sont le carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ), carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) et le carbonate de magnésium ( $\text{MgCO}_3$ ).

**Les chlorures** : principalement : le chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ), le chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ) et chlorure de magnésium ( $\text{MgCl}_2$ ) ce sont plus soluble et forte toxicité.

**Les sulfates** : ce sont les sels de l'acide sulfurique et les plus fréquents sont: le sulfate de magnésium ( $\text{MgSO}_4$ ), sulfate de sodium ( $\text{NaSO}_4$ ) et le sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4$ ). (**Aubert, 1982**).

### 3.4. Genèse de sols salin et/ou sodique :

Les sols salés ou sols halomorphes appelés actuellement sols salsodiques représentent un pourcentage important de la surface totale des sols dans le monde (**Cherbuy, 1991**). Ils se différencient naturellement sous les climats plus ou moins aride, mais aussi tempérés, maritimes ou continentaux, là où l'évaporation excède, les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire (**Bouteyre et loyer, 1992**). Par ailleurs le développement mondial de la culture irriguée entraîne et toujours une extension secondaire des terres salées liée à la dégradation chimique et physique des sols et à une mauvaise conduite de l'irrigation (**Shainberg, et Shalhevet, 1984 ; Sumner, 1993 ; Gassemi et al., 1995 ; Cheverry et Bourrie ; 1998 ; in Claud et al (2005)**). On parlera en général de sol salé lorsque la concentration en sels des solutions dépasse 0.5 g/ l cette concentration est le plus souvent mesurée par la conductivité électrique (CE) de la solution du sol saturée exprimée en mmhos/cm ou actuellement en décisiemens en S/m (**Robert, 1996**).

La formation d'un sol salin ou sodique résulte généralement de l'accumulation de sels dans les horizons de surface (**Churchman et al., 1993, Naidu et Rengasamy 1993, Sumner 1993, Keren 2000, Levy 2000, Brady et Weil 2002, Essington 2004**). Ce processus dépend essentiellement du régime hydrique du sol et des sources de sel. Lorsque le climat est chaud et sec, entraînés par les eaux capillaires suivant le flux d'évaporation, les sels sont accumulés en surface. Les sels les plus communs présents dans la solution du sol correspondent aux cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , et aux anions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ .

**Sumner (1993), Levy (2000), Essington (2004)**, montrent que de façon analogue à la formation d'un sol salin, un sol devient sodique lorsque la proportion d'ions  $\text{Na}^+$ . Evaluation et mesure de la salinité des sols dépassent celles des autres électrolytes de plusieurs ordres de grandeur. Cela dépend de la source de sels, mais aussi, des conditions physicochimiques du sol.

### **3.5. Répartition des sols salés dans le monde et en Algérie :**

Les sols salés occupent une superficie de 950 millions d'hectares (**Zid et Grignon, 1991**). Il a été estimé que 20% des 275 millions d'hectares des terres irriguées (**Flowers et Flowers, 2005**) et 15% (227 millions d'hectares) des terres cultivables sont affectés par la salinité (**Munns, 2002**). Selon ces estimations et celles de la FAO, la salinité affecte au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente (**Legros, 2009**). Elle est donc très importante quantitativement puisque, encore une fois, nous n'avons qu'un milliard et demi d'ha cultivés sur la terre. Généralement, le monde perd en moyenne 10 ha de terres cultivables par minute dont 3 ha (plus de 1,5 Mha par an) à cause de la salinisation (**Bot et al., 2000**).

En Afrique, près de 40 Mha sont affectés par la salinité, soit près de 2% de la surface totale. Au Proche-Orient, près de 92 Mha soit environ 5% de la surface totale (**Anonyme, 2008**). Et dans les régions méditerranéennes particulièrement dans les zones semi-arides, la salinité est très répandue car les précipitations sont insuffisantes pour assurer le lessivage des sels (**Levigeron et al., 1995**).

En Algérie les zones semi-arides et arides couvrent près de 95% du territoire (**Benkhelif et al., 1999**). D'après **Omrani (1993)**, les sols salins se situent dans différentes régions d'Algérie parallèlement au Nord et au Sud de la côte et de manière discontinue. Au Sud, ces sols se situent dans les chotts Echergui et El Gharbi ainsi qu'au niveau de la steppe et à Biskra et Oum Bouaghi. Au Nord Ouest, dans les régions oranaises comme Messerghine, Sig, Mohammadia, Relizane et Oued Rhiou ainsi qu'à l'Est dans les régions de Sétif, Constantine et Annaba.

### **3.6. Mécanismes de toxicité du chlorure de sodium:**

#### **3.6.1. Stress osmotique :**

Lorsqu'il y a une forte pression osmotique de la solution autour des racines, un stress osmotique se produit menant à une baisse du potentiel hydrique externe. Dans ce cas, l'effet du stress hydrique résultant est attribuable aux fortes concentrations de sel à l'extérieur de la plante plutôt que dans la plante elle-même, qui peut inhiber l'alimentation en eau ou même, causer la déshydratation de la plante et finalement réduire la turgescence et la croissance (**Flowers et al., 1977; Greenway et Munns, 1980; Munns et al., 1983**). Une légère limitation de la disponibilité de l'eau cause la réduction du niveau photosynthétique, mais plus loin les réductions peuvent mener à une inhibition complète de la photosynthèse (**Xiong et al., 2002**).

Le stress osmotique peut se produire aussi dans l'apoplaste de la feuille (**Oertli, 1968**). Les fortes concentrations en ( $\text{Na}^+$ ) apoplastique peuvent induire un flux d'eau des cellules, causant ainsi une baisse de la turgescence et une augmentation dans la concentration de solutés intracellulaires (**Munns et al., 1983**). De tel commande osmotique de transport d'eau des cellules provoque une tension sur les membranes et les macromolécules, interrompre les activités cellulaires naturelles, et pourrait causer même la mort des cellules. Comme l'eau produit une pression de turgescence qui est une force motrice pour l'expansion cellulaire, la baisse de turgescence pourrait résulter aussi du niveau de l'expansion cellulaire (**Xiong et al., 2002**). Le stress osmotique peut aussi se produire dans les vacuoles de la feuille, comme le ( $\text{Na}^+$ ) peut être quelquefois inapte comme un osmoticum dû à son effet légèrement perturbateur de la structure en réseau d'eau autour de protéines (**Maggio, 2002**).

### **3.6.2. Stress ionique :**

D'après **Cramer (2000)**, ce composant supplémentaire de stress salin est attribuable au rapport ( $\text{K}^+$ ) / ( $\text{Na}^+$ ) échangeable et la concentration du ( $\text{Na}^+$ ) qui sont néfastes aux plantes. La toxicité du  $\text{Na}^+$  ionique peut être manifestée dans l'apoplaste cellulaire dû à son déplacement de / ou substitution pour le ( $\text{Ca}^{2+}$ ), comme ils ont un rayon ionique semblable de 0.097 nm et 0.099 nm pour ( $\text{Na}^+$ ) et ( $\text{Ca}^{2+}$ ) respectivement. Cela résulte en une interruption de fonctions du ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dans l'apoplaste cellulaire aussi, fortes et constantes concentrations physiologiques de ( $\text{K}^+$ ) (100-200 mM), avec concentrations basses de ( $\text{Na}^+$ ) 1 à 30 mM est exigé dans le cytoplasme pour les processus cytoplasmiques normaux (**Jeschke, 1983; Binzel et al., 1985**). La concentration du ( $\text{Na}^+$ ) au-dessus de 100 mM ou un faible rapport ( $\text{K}^+$ ) / ( $\text{Na}^+$ ) peuvent inhiber de telles fonctions à travers la capacité du ( $\text{Na}^+$ ) de rivaliser avec le ( $\text{K}^+$ ) pour ses sites de liaison ( $\text{Na}^+$ ) (**Greenway et Munns, 1980; Wyn Jones et al., 1983; Gorham, 1992; Tester et Davenport, 2003**).

Les fortes concentrations en ( $\text{Na}^+$ ) peuvent perturber aussi les fonctions enzymatiques cytosoliques parce que le ( $\text{K}^+$ ) est un activateur essentiel de plus de 50 enzymes, le ( $\text{Na}^+$ ) est incapable de remplacer le ( $\text{K}^+$ ) dans ce rôle. De façon intéressante, les enzymes cytosoliques des halophytes sont aussi inadaptés aux fortes concentrations du sel, et présentent la même sensibilité vis-à-vis du sel comme les enzymes des glycophytes. Le ( $\text{Na}^+$ ) peut causer aussi l'interruption de composants cytoplasmiques tels que les microtubules, microfibrils, spherosomes et ribosomes. L'accumulation du sel dans la plantule peut réduire la surface foliaire photosynthétique à travers l'inhibition du ( $\text{Na}^+$ ) de la division et l'expansion et cellulaire (**Flowers et al., 1977 ; Rahmoune et al., 1997 ; Ben Nacer et al., 2004; Rahmoune et al., 2005**).

### 3.6.3. Stress secondaires :

En plus d'imposer des stress osmotiques et ioniques, la forte salinité provoque aussi des stress secondaires. Certains sels peuvent affecter la balance nutritionnelle chez les plantes s'ils sont présents en concentration excessive ou en proportion anormale (**Snoussi et Halitim, 1998**). Par exemple, l'utilisation efficace d'éléments nutritifs nécessaires en particulier le ( $K^+$ ) et le ( $Ca^{2+}$ ) qui peuvent être affaiblis dans les sols salins, en causant des déséquilibres tel que la réduction du rapport ( $K^+$ )/ ( $Na^+$ ) et la déficience des plantules en ( $Ca^{2+}$ ), donc affecter plus loin leur croissance et leur productivité (**Greenway et Munns, 1980; Zhu et al., 1998; Essah, 2000**).

### 3.6.4. Stress oxydant :

La terminologie « stress oxydant » est généralement utilisée pour toute agression environnementale ayant pour conséquence une production accrue d'oxydants, molécules toxiques dérivées de l'oxygène. Le stress oxydatif correspond à une perturbation du statut oxydatif intracellulaire, induite soit par production excessive de radicaux libres soit par une diminution de la capacité de défense anti-oxydante. Les effets de radicaux libres sont proportionnels à l'intensité et à la durée de leur production. Une production transitoire et modérée de radicaux libres correspond à un mécanisme de défense de la cellule lui permettant, par exemple, de détruire des microorganismes pathogènes. Lorsque cette production est récurrente ou chronique mais reste modérée dans son intensité, la balance entre production de radicaux libres et système de détoxification de la cellule est perturbée de manière continue, et on parle alors de stress oxydatif. Si la production de radicaux libres est suffisamment importante elle altère de manière irréversible des processus cellulaires vitaux et déclenche la nécrose et la mort cellulaire. Les radicaux libres réagissent avec des substrats oxydables (dont le glucose) et produisent des radicaux carbonyles. Ces derniers ont de multiples effets intracellulaires dont la glycation de protéines. L'altération de la structure de l'ADN, la génération de produits de peroxydation des lipides, et la modulation de la transcription de nombreux gènes (**Elstner, 1982 ; Halliwell et Gutteridge, 1984 ; Allen, 1995 ; Essah, 2000 ; Paridaa et Dasa, 2005**).

## 4. La salinité, le sol et la plante:

### 4.1. Impact de la salinité sur le sol :

Selon **Richards (1954)**, les sols sodiques ont un pH de plus de 8,5 avec une dominance de l'ion sodium. Cette saturation en sodium provoque généralement la dispersion des particules d'argile avec comme conséquence une dégradation de la structure du sol. De ce fait, le sol devient compact et imperméable, empêchant donc l'aération et la pénétration de l'eau nécessaires pour une croissance régulière des plantes.

**Douaoui et al., (2001)** ont montrées que la dégradation physique des sols est principalement liée à la sodisation. Ils ont conclu que le ESP (pourcentage de sodium échangeable) est le principal facteur de la dégradation de la structure de surface du sol, suivi par les limons et la salinité. Le taux d'infiltration diminue au fur et à mesure que le SAR et la concentration saline augmentent.

En **1991**, **Lassana** a démontré que l'élévation du pH peut créer plusieurs problèmes de fertilité y compris :

- Un blocage du phosphore sous des formes non ou peu assimilables
- Une évolution de l'azote tout à fait particulière (volatilisation).
- Des carences induites de certains éléments minéraux (Zinc, Mn, Fe; Cu).
- Une dispersion de la matière organique. Cette matière organique ainsi dissoute en milieux alcalins est ramenée en surface par le processus de remontée capillaire et l'évaporation colorant en noir la croûte superficielle (salants noirs).
- Une destruction de la structure du sol accentue l'érosion par l'eau et par le vent des sols salins et sodiques. Quand la dégradation des sols se produit dans des zones arides, semi-arides c'est la désertification.

### 4.2. Impact de la salinité sur le végétal :

La germination des graines est le premier stade physiologique affecté par la salinité. La capacité d'une graine à développer un embryon viable dépend des conditions du milieu de germination et en particulier de sa teneur en sel ; une salinité excessive réduit la vitesse de germination ainsi que la faculté germinative (**Slama, 2004**). Le ralentissement de la vitesse de germination, rend les semences plus exposées aux risques du milieu. Ceci abaisse, plus au moins, le taux de graines germées et ce en fonction de la concentration en sel du milieu (**Bliss et al., 1986 ; Belkhodja et Bidai, 2004 ; Lachiheb et al., 2004 ; Maalem et Rahmoune, 2009**). Selon **Benrebaha, (1987)**, la germination d'*Atriplex halimus* et d'*Atriplex nummularia* est inhibée dès que la concentration en NaCl dépasse 4 g/l à 20°C. La germination des

plantes, qu'elles soient halophytes ou glycophytes, est affectée par la salinité. Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique.

D'après **Cherby, (1991) in Dehnoud, (1998)** la salinité est un phénomène pédologique où le sol s'enrichit anormalement en sels solubles. Cette salinisation est néfaste au développement des végétaux par la diminution de leur potentiel productif, ce processus affecte 25 % des terres irriguées dans les zones arides et semi arides (**Levigneron et al., 1995**). La salinité provoque un impact négatif sur les rendements des cultures et la production agricole (**Loyer, 1991**). Dans des sols sévèrement touchés par la salinité, il se forme souvent une mince croûte de couleur blanchâtre (efflorescence saline) en surface. Comme conséquence de la salinité sur la plante, le mécanisme essentiel qui limite son développement est la pression osmotique ( $PO = 0.036 * CE$ ) (**Chesworth, 2008**). Selon cette formule empirique, la pression osmotique augmente avec la concentration en sels et rend l'absorption de l'eau par la plante plus difficile (**Loyer, 1991**).

En **1982**, **zid** a montré que les effets de la salinité sont: l'arrêt de la croissance, le dépérissement des tissus sous forme de nécroses marginales, suivi par une perte de turgescence, par une chute des feuilles et finalement par la mort de la plante. En **1999**, **Munns et Rawson** ont montré que tous les paramètres de rendement subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit. la salinité cause une chute du rendement en matière sèche à partir d'une certaine concentration de NaCl (**Elmekkaoui, 1987**).

### **4.3. Impact de la salinité sur la morphologie de la plante :**

Selon **Burn (1980)**, le stress salin entraîne plusieurs modifications morphologiques mais c'est le poids de la matière sèche et la longueur des tiges qui représentent le mieux la tolérance ou la sensibilité des plantes aux sels. La comparaison des plantes vivantes dans un milieu non salé et celles des milieux salés, montre que les fortes concentrations de sels solubles dans l'environnement racinaire provoquent la formation de plantes naines ainsi qu'une germination lente chez certaines espèces (**Elmekkaoui, 1987**).

Le volume occupé par les racines d'une plante dans le sol a une grande importance pour l'absorption de l'eau. Par exemple, les racines du blé s'enfoncent à 50 cm dans un sable, mais atteignent 1m dans un limon. Dans une forêt tempérée l'espace racinaire effectif des arbres ne dépasse pas 1m pour l'absorption de l'eau. En général, les racines superficielles peuvent vaincre des tensions de succion supérieures et se procurer de l'eau même dans un sol sec. En stress salin, les racines *Retamaretam* traitées à des doses 50 à 300 meq/l de Na Cl ne sont que légèrement affectées par rapport aux tiges avec une petite variation en longueur. L'impact de la salinité ne se manifeste qu'à partir de 6g/l (**Elmekkaoui, 1987**).

Sous contrainte saline, la plante dépense plus d'énergie photosynthétique pour maintenir un statut hydrique élevé et pour la production de racines en vue de la recherche d'eau et/ou la réduction de la perte d'eau. Dans ces conditions, il semble que l'arrêt de la croissance foliaire soit déclenché par des signaux hormonaux et qu'une part importante des photosynthétats soit alors redistribuée à la croissance racinaire (Kafkai, 1991). Les racines sont moins affectées par la salinité que la partie aérienne. En effet, un jaunissement apparaît sur les jeunes feuilles. Il peut se former des décolorations ou des brûlures dues à la toxicité des sels à fortes doses (Cherfaoui, 1997 in Ziani, 2001). Les chercheurs ont constatés que la surface foliaire est réduite sous stress salin (Benaceur et al., 2001). Si la concentration des sels dans le sol est importante, la partie aérienne est réduite (Briens, 1979 in Belouazani, 1994).

#### **4.4. Impact de la salinité sur la physiologie de la plante :**

Il existe 2 effets de la salinité sur la physiologiques de la plante :

- **Sur les échanges gazeux et la photosynthèse :**

D'après Alem et al., (2002) la salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale. La réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire (Munns, 2008), qui est à l'origine de la fermeture des stomates (Price et Hendry, 1991 ; Allen, 1995), qui cause la réduction de la conductance stomatique (Orcutt et Nilsen, 2000). La diffusion du CO<sub>2</sub> à l'intérieur des stomates devient alors limitée et sa fixation au niveau des chloroplastes diminue par conséquent la régénération du RuBP (Ribulose Biphosphate) devient limitée.

- **Sur la reproduction :**

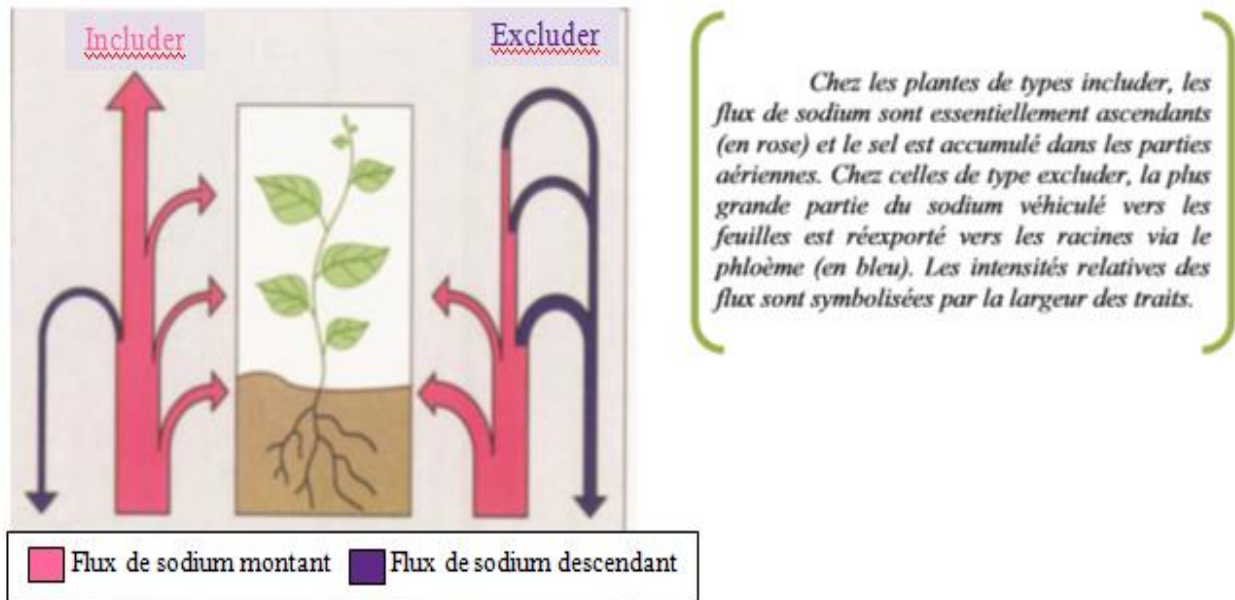
La salinité réduit le taux de croissance de la plante et ses organes reproducteurs (Hu et al., 2005).

#### **4.5. Mécanisme de tolérance à la salinité :**

La sensibilité des végétaux au stress salin est fonction de l'espèce, de la variété, du stade de croissance et des facteurs pédoclimatiques (Daoud et Halitim, 1994). La tolérance des plantes à la salinité est la faculté des cultures à résister aux effets excessifs des sels au niveau de la rhizosphère; elle est évaluée par l'aptitude des végétaux à survivre dans les sols salins (Mass, 1990; Rao et al., 1991).

Selon Xu Xing (1994), la salinité est un processus complexe qui fait intervenir de nombreux mécanismes liés à la biochimie et la physiologie de la cellule ou à l'organisme tout entier. Chez les plantes sensibles au NaCl, le Na<sup>+</sup> s'accumule dans les racines, puis exclut des feuilles, ces plantes sont dites « excluser ».

A l'inverse, les plantes tolérant le NaCl, sont dites « incluser » car elles ont en général des feuilles plus chargées en Na<sup>+</sup> que les racines lorsqu'elles sont cultivées en présence de sel (**Haouala et al., 2007**) (**Figure 5**).



**Figure 5.** Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes incluser ou excluser (**Levigneron et al., 1995**).

#### 4.5.1. Exclusion :

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

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



#### 4.5.2. Inclusion :

L'inclusion et la compartimentation est la stratégie la plus efficace pour éviter la toxicité de  $\text{Na}^+$  sur des sites métaboliques dans le cytoplasme (**Jebnoue, 2008**). La plante utilise en effet le sel pour ajuster la pression osmotique de ses cellules. Elle capte le sel qui parvient aux feuilles, au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires. Les vacuoles étant des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (**Sentenac et Berthomieu, 2003**).

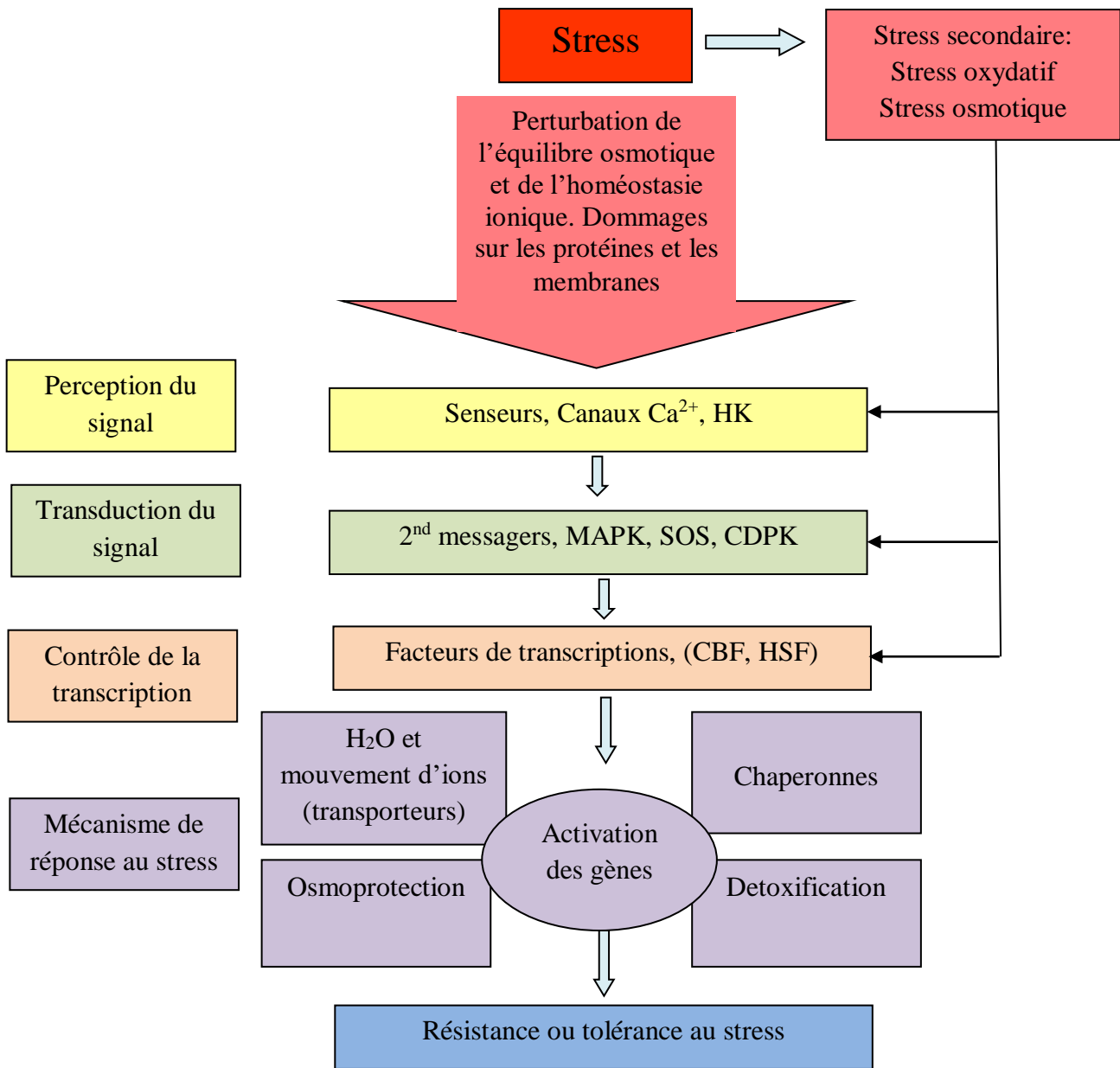
#### 4.5.3. Recirculation :

Selon **Berthomieu et al.**, (2003) la plante a la capacité de réexpédier aussitôt l'excès de sel parvenu jusqu'aux feuilles vers ses racines, par l'intermédiaire de sa sève descendante par le phloème. Les racines peuvent ensuite recirculer le sel à l'extérieur et l'éliminer vers le sol.

#### 4.6. Stratégie d'adaptation de la plante aux stress salin :

La diminution du flux d'eau à travers la plante montre que l'action du sel présente les mêmes symptômes avec la sécheresse. La plante pour survivre à divers stress hydrique, salin ou thermique doit réaliser des réactions sous forme d'accumulation de composés organiques. Le végétal confronté à une contrainte qui est la salinité accumule des sucres et composés azotés ainsi que l'ajustement osmotique qui est une forme d'adaptation (**Goas, 1978 in Ayadi et al., 1979**). L'ABA hormone qui est synthétisée dans ces situations de stress salin, cette dernière contribue à la fermeture des stomates, stimule l'assimilation, l'absorption d'eau par les racines et la formation des racines latérales et des poils absorbants.

Selon **Hamza(1982)**, les plantes manifestent des adaptations diverses en présence d'un excès de sel, un allongement faible des organes, un raccourcissement des entrenœuds et une réduction de la surface foliaire. Les différentes parties de la plante ne réagissent pas de la même façon en milieu salin. Les racines commencent à diminuer (**Levigneron et al., 1995**) (**Figure 6**).



**Figure 6:** Représentation générale de la réponse au stress chez les plantes (Wang et al., 2003).

#### **4.6.1. Ajustement osmotique :**

Selon **ElMidaoui et al., (2007)** l'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs qui peuvent être des ions tels que les  $K^+$ ,  $Na^+$  et  $Cl^-$  ou des composés organiques tels les sucres solubles (fructose, glucose, tréhalose, raffinose, fructanes) et certains aminoacides (proline, glycine bétaine,  $\beta$ -alaninebétaine, prolinebétaine) conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence. L'accumulation de ces composés a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Elle varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le degré de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (Acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes. Ce phénomène permet le maintien de nombreuses fonctions physiologique (photosynthèse, transpiration, croissance...) et peut intervenir à tous les stades du développement du végétal. Il permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes, la proline semblant jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosol vacuole et de régulation du pH (**Hassani et al., 2008**).

#### **4.6.2. Accumulation de sucres solubles :**

Le taux des sucres augmente considérablement chez les plantes soumises aux différents types de stress, cela a été vérifié par **Chungyang et Kaiyun (2001)** chez des arbres adultes d'eucalyptus sous stress salin. Les espèces résistantes au stress salin ont un taux élevé de sucres solubles résultant d'un blocage de la glycolyse (**Lessani, 1969 in Hadjari, 1999**). Les principaux sucres accumulés sont le glucose, fructose et le saccharose (**Hare et al., 1998**). Ils jouent un rôle dans le maintien de la pression de turgescence qui est la base de différents processus contrôlant l'activité d'une plante.

#### **4.6.3. Accumulation de proline :**

De nombreuses études sur les halophytes ont mis en évidence une accumulation d'acides aminés libres, notamment la proline (**Hubac et al., 1969**). Cette accumulation a été observée chez la pomme de terre, le tabac et le blé (**Pedrizat, 1974**). La proline a un rôle osmotique dans le cytoplasme (**Batamouny, 1993**). La quantité de cet osmorégulateurs augmente suite à l'hydrolyse de protéines stockées sous l'effet du sel (**Levit, 1972**).

#### **4.7. Lutte contre la salinisation des sols :**

La lixiviation (leaching) ou le drainage sont des techniques communément utilisées pour contrôler la concentration des sels dans le sol (**Häfele et al., 1999 ; Qadir et al., 2000 ; Oad et al., 2002 ; Dai et al., 2015**). La méthode classique, basée sur le mouvement de l'eau dans et à travers le sol, consiste à appliquer une quantité d'eau relativement importante pour dissoudre et transporter les sels soit verticalement, soit latéralement par un lavage de surface (**Hoffman, 1986 ; Tanton et al., 1995 ; Qadir et al., 1998 ; Hillel, 2000 ; Qadir et al., 2000**). Cette approche est souvent associée :

- ✓ Au labour à saturation (puddling) pour augmenter la dissolution et l'exportation des sels (**Karimi, 1997 ; Häfele et al., 1999**)
- ✓ A un cycle d'apport d'eau et de vidange pour dissoudre et évacuer les sels notamment dans la couche de surface (flushing) (**Tanton et al., 1988a ; Adam et al., 2012**)
- ✓ A une irrigation goutte à goutte ou par pulvérisation pour diminuer l'intensité de l'apport d'eau et augmenter la dissolution et la lixiviation des sels (**Tanton et al., 1995 ; Sun et al., 2012 ; Dai et al., 2015**).

# Partie expérimentale

# CHAPITRE I: MATERIEL ET METHODES

## 1. Matériel végétal :

Le matériel végétal ayant fait l'objet de notre étude concerne les graines de deux écotypes d'*Atriplex halimus*. Le premier lot récolté en 2017 a été généreusement fourni par le Haut Commissariat de Développement de la Steppe, (H.C.D.S) de la Wilaya de Djelfa. Le deuxième a été récolté en 2018 sur des arbustes présents à l'état spontané dans la région de Tamanrasset (**Figure 7**).



**Figure 7:** Carte géographique indiquant les sites de provenance du matériel végétal (Anonyme, 2020).

Les données écologiques et climatiques des deux régions sont représentées dans le (Tableau 4).

**Tableau 4.** Données écologiques et climatiques des stations expérimentales où s'est effectuée la récolte des fruits des deux écotypes (Djelfa (**Bouchenak, 2014**) et Tamanrasset (**Anonyme, 2019**)) d'*Atriplex halimus* L.

Stations	Etage bioclimatique	Localisation	Durée de sécheresse (mois)	T° Max	Altitude (m)	Coordonnées géographiques	P (mm)
Djelfa	Semi aride	300 km au sud d'Alger	06	31	830	34°36'N/3°03'E	380
Tamanrasset	Aride	1900 km au sud d'Alger	09	35	400	22°47'N/5°31'E	43

**T° Max** : Température maximale du mois le plus chaud, **P** : Moyenne des précipitations annuelles.

## 2. Site expérimental :

Notre étude a été réalisée au niveau du laboratoire de cultures Maraichères du département de biotechnologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université Blida -1.

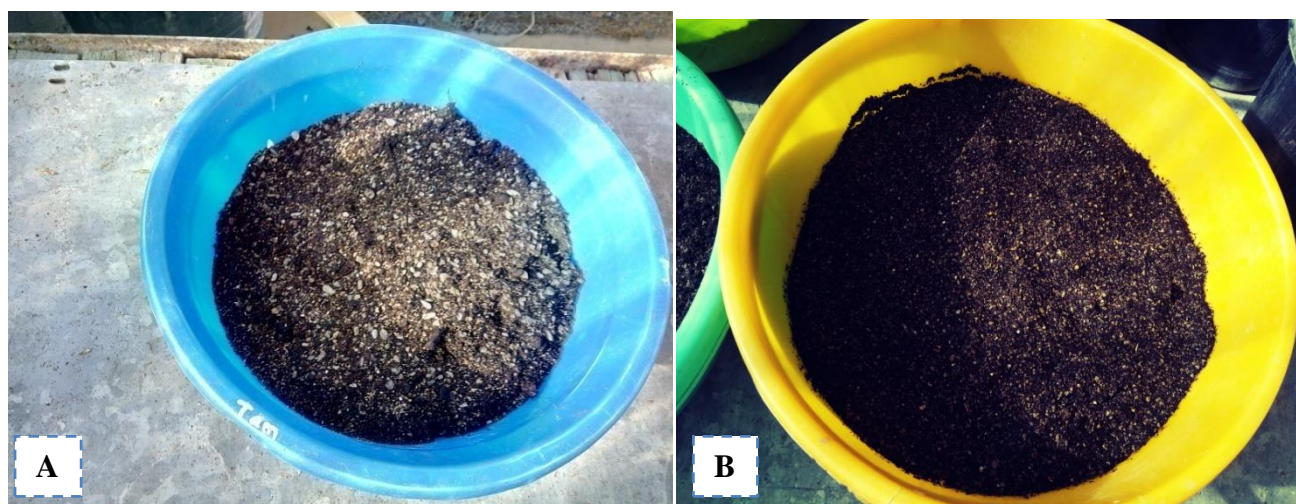
L'expérimentation est menée dans une serre de 382,5 m<sup>2</sup> de surface en polycarbonate, sous des conditions semi-contrôlées, d'exposition nord-sud. L'éclairément est celui du jour, la température varie au cours de la journée et d'une saison à l'autre. Un système de chauffage thermostatique permet de réguler la température durant les journées les plus froides. L'aération est assurée par plusieurs fenêtres placées latéralement de part a d'autre de la serre sur une longueur de 17m (**Figure 8**).



**Figure 8:** Serre expérimentale (Laboratoire de cultures Maraichères) (**Anonyme, 2012**).

### 3. Conditions de culture :

Les fruits d'*Atriplex halimus* L. ont été décortiqués manuellement, les graines obtenues sont mises à germer dans des bacs remplis par un mélange de tourbe et de sable (2V/1V) (**figure 9**). L'arrosage se fait régulièrement à l'eau du robinet.



**Figure 9.** Semis des graines d'*Atriplex halimus* L. issues de **A** : Tamanrasset et **B** : Djelfa

Une fois les graines germées, les germes sont repiqués dans des petits gobelets contenant le mélange de tourbe et de sable (**figure 10**). L'arrosage se fait tous les deux jours à l'eau du robinet.

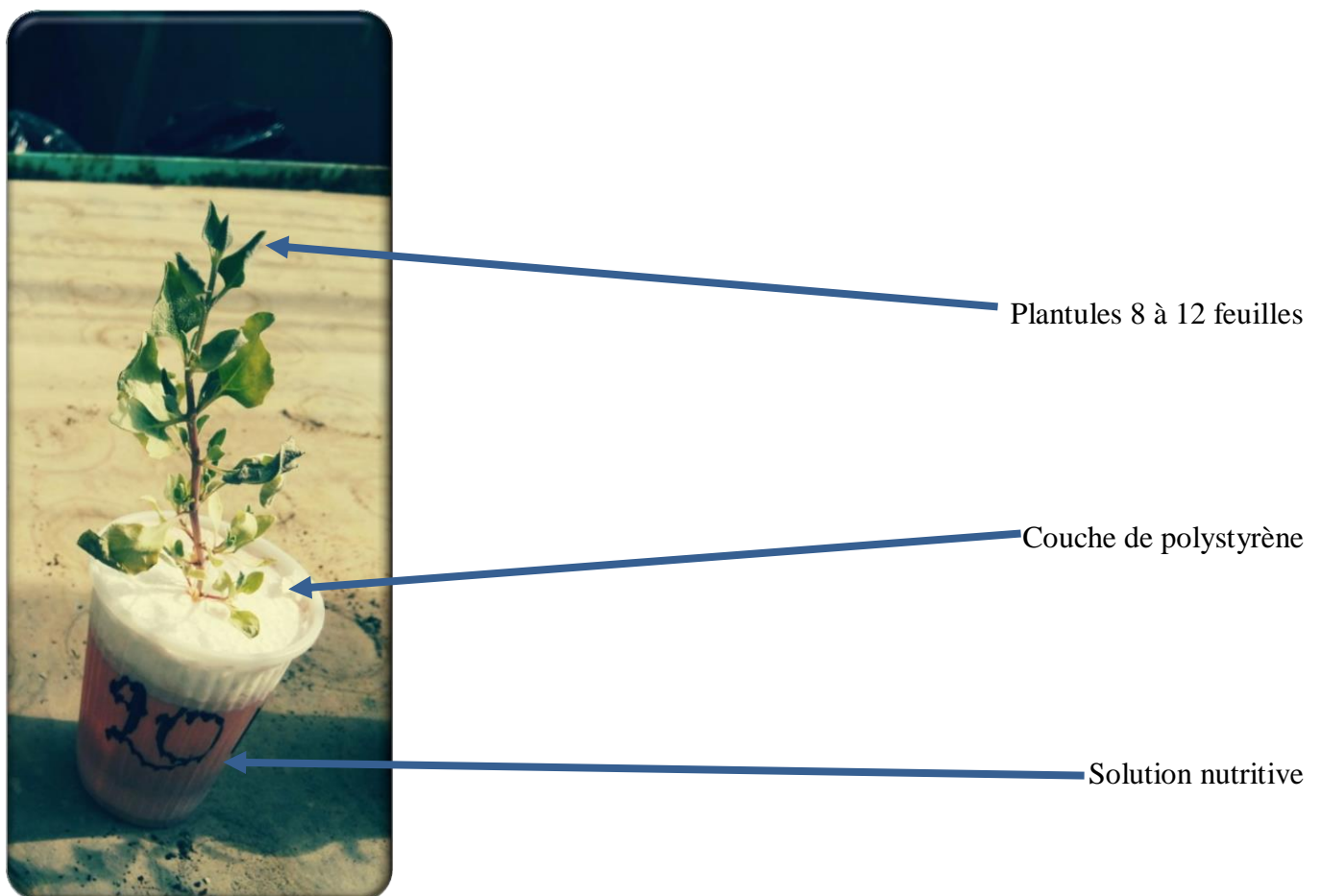


**Figure 10** : Vue générale des plantules après repiquage (1 mois).



Au bout de 2 mois, les plantules atteignent le stade 8-12 feuilles, stade où nous avons appliqué le stress hydrique et le stress salin. Les plantules sont soigneusement déterrées, les racines sont rincées puis immergées dans une solution nutritive modifiée (**Ben Hassine et Lutts, 2010**) (**tableau 5**), recouvert de polystyrène et conduits en système hydroponique (**figure 11**).

Les plantules ainsi préparés sont laissées pendant 5 jours d'acclimatation jusqu'à l'application du stress hydrique et le stress salin (soit 120ml de solution nutritive par gobelet).



**Figure 11.** Présentation du système hydroponique

**Tableau5.**Composition de la solution nutritive modifiée utilisée.

Produit	Formule chimique	Masse molaire (g/mol)
Nitrate de potassium	$\text{KNO}_3$	101.1
Phosphate d'hydrogène ammoniacal	$(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$	115.08
Sulfate de magnésium heptahydrate	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246.49
Nitrate de calcium	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	236.16
Chlorure de potassium	$\text{KCl}$	74.55
Acide borique	$\text{H}_3\text{BO}_3$	61.84
Sulfate de manganèse(II)	$\text{MnSO}_4$	151.001
Sulfate de zinc heptahydrate	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	289.55
Sulfate de cuivre	$\text{CuSO}_4$	159.609
Molybdate de sodium	$\text{Na}_2\text{MoO}_4$	205.92
Fer chélate	Fe EDTA	346.08

(Ben Hassine et Lutts, 2010).

Le stress salin et le stress hydrique sont appliqués durant 10 jours par l'ajout de chlorure de sodium (NaCl) et PEG 6000 (poly éthylène glycol) à la solution nutritive, les concentrations utilisées sont les suivantes :

- ✓ T<sub>0</sub>: Témoin, Solution nutritive (SN) sans chlorure de sodium et sans PEG.
- ✓ T<sub>1</sub>: SN + 100 mM de NaCl (5.84g/l).
- ✓ T<sub>2</sub>: SN + 300 mM de NaCl (17.52g/l).
- ✓ T<sub>3</sub>: SN + 50 g/l de PEG 6000.
- ✓ T<sub>4</sub>: SN + 100 g/l de PEG 6000.

Les doses de NaCl (100 et 300 mM) utilisées ont été choisies à partir des travaux de **Bouchenak (2014)**, les concentrations de PEG6000 correspondantes (50 et 100 g/l) sont calculées à l'aide de la formule de **Michel et Kaufmann (1973)**.

#### 4. Dispositif expérimental :

Le dispositif expérimental adopté en bloc aléatoire complet sans contrôle d'hétérogénéité à randomisation totale. Nous avons réalisé cette expérimentation en comparant 5 traitements différents, à raison de 6 répétitions par traitements pour chaque écotype (**Figure 12 et Figure 13**).



**Figure 12.** Vue générale du Bloc

D T4 T T3	D T1 T T0	D T4 T T2	D T2 D T3	D T4 T T1	D T0 D T4
D T0 T T4	T T3 T T1	T T0 D T1	D T4 T T3	D T0 T T4	D T3 D T2
T T0 T T1	D T0 D T4	T T4 T T1	T T0 D T1	D T3 T T3	T T2 T T4
D T3 T T2	D T2 T T4	D T3 D T0	T T2 T T1	D T2 T T0	T T3 D T1
D T1 D T2	T T2 D T3	T T3 D T2	T T4 D T0	T T2 D T1	T T1 T T0

**Figure 13.** Dispositif expérimental adopté aux plantules d'*Atriplex halimus* L.

T :Tamanrasset D : Djelfa

## 5. Paramètres étudiés :

### 5.1. Teneur en eau de la plante :

La teneur en eau de la plante entière est mesurée par : le poids frais et sec après passage à l'étuve pendant 48 heures à 80°C. On calcule la teneur en eau de la plante selon l'équation suivante :

$$\text{TE}\% = (\text{PF} - \text{PS}) / \text{PF} \times 100$$

Où **TE** : teneur en eau, **PF** : poids frais, **PS** : poids sec.

### 5.2. Surface foliaire :

La surface foliaire exprimée en (Cm<sup>2</sup>), est mesurée à l'aide du logiciel image J. On a choisi aléatoirement une feuille par plant qu'on met sur un papier millimétrique et on prend les mesures (la longueur et la largeur du limbe en cm). Ainsi, la surface foliaire (S) est déterminée selon la formule décrite par **Bezzala en 2005**:

$$\text{SF} = (\pi \times a \times b) / 4$$

Avec :

**SF** : Surface foliaire en (cm<sup>2</sup>), **a** : longueur du limbe en (cm), **b** : largeur du limbe en (cm).

### 5.3. Longueur de la partie aérienne et racinaire

Avec une règle, on mesure la longueur de la partie aérienne et racinaire des plantules exprimée en cm.

### 5.4. Dosage des pigments chlorophylliens :

Les teneurs en chlorophylle a, chlorophylle b, chlorophylle totale et caroténoïdes sont déterminées selon la méthode de **Lichtenthaler (1987)**. Dans un tube à essai, on ajoute à 0,1 g d'échantillon frais, coupé en petits fragments et 10 ml d'acétone à 95%, l'ensemble est conservé à l'obscurité à 4°C pendant 48 heures. La densité optique est lue à l'aide d'un spectrophotomètre. Une mesure de l'absorbance est effectuée à **470, 663 et 645 nm**

L'appareil est étalonné avec la solution témoin à base d'acétone à 95%, les teneurs en pigments, exprimées en mg/g de PF, sont calculées par les formules suivantes :

$$\begin{aligned} \mathbf{Ca} &= \mathbf{11.24 A663 - 2.04 A645} \\ \mathbf{Cb} &= \mathbf{20.13 A645 - 4.19 A663} \\ \mathbf{Ca + b} &= \mathbf{20.2 A645 + 8.02 A663} \\ \mathbf{Cx + c} &= \mathbf{1000 A470 - 1.90 Ca - 63.14 Cb / 214} \end{aligned}$$

Avec : **Ca** et **Cb** : Concentration en chlorophylles a et b ; **Cx + c** : concentration en caroténoïdes.

## **6. Analyses statistiques :**

Les paramètres statistiques, moyenne et écart-type, ont été calculés à l'aide du logiciel Excel.

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel R Studio considérant les résultats significatifs quand  $P < 0.01$ . Les différences pour les divers paramètres ont été analysées en utilisant une ANOVA (analyse de variance) et le test de Tuckey HSD (Honest Significant Difference) pour la comparaison des moyennes.

## CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION

### RESULTATS:

Les résultats obtenus après 10 jours d'application des stress salin et hydrique à différentes concentrations sur les plantes d'*Atriplex halimus* L. issues de deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset), ainsi que les traitements qui ont été élaborés simultanément sont présentés de la façon suivante :

#### 1. Teneur en eau :

Les différents essais effectués sur les plantes des 2 écotypes (Djelfa et Tamanrasset) pour connaître les teneurs en eau, nous ont permis d'avoir les résultats suivants :

##### 1.1. Effet du stress salin sur la teneur en eau chez les deux écotypes :

Les résultats de l'effet du stress salin sur la teneur en eau chez les deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset) sont regroupés dans la **figure 14**. Les résultats obtenus montrent donc l'ensemble un maintien de la teneur en eau entre 83.99% et 86.18%, ce qui suppose l'absence de toute perturbation du statut hydrique des plantes stressées. Ce résultat est confirmé par l'analyse de la variance ANOVA qui ne montre aucune différence significative entre les différents traitements des deux écotypes ( $P=0.7189$ ).

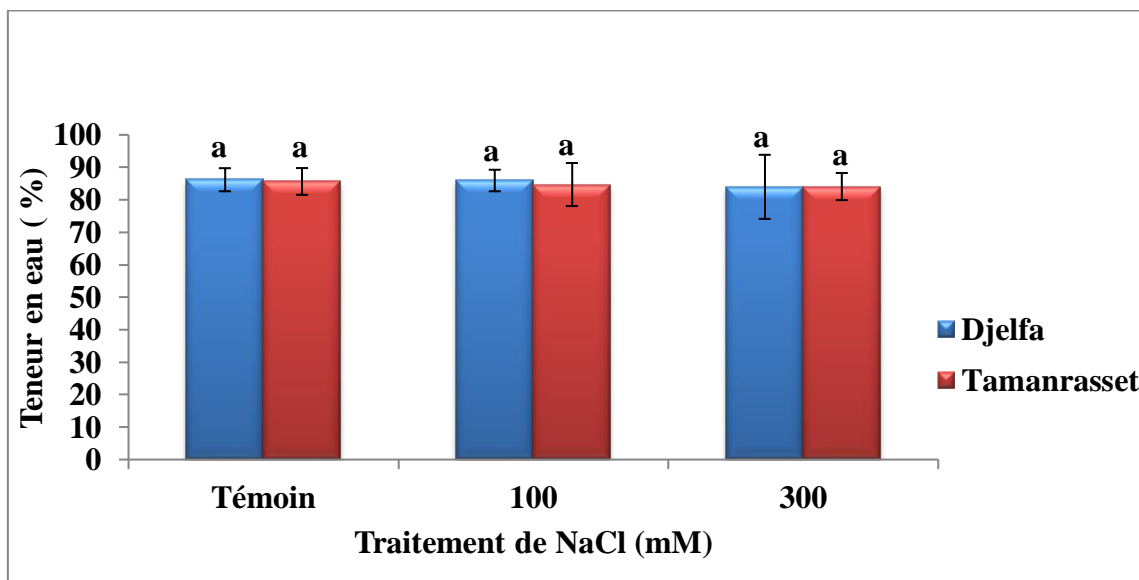
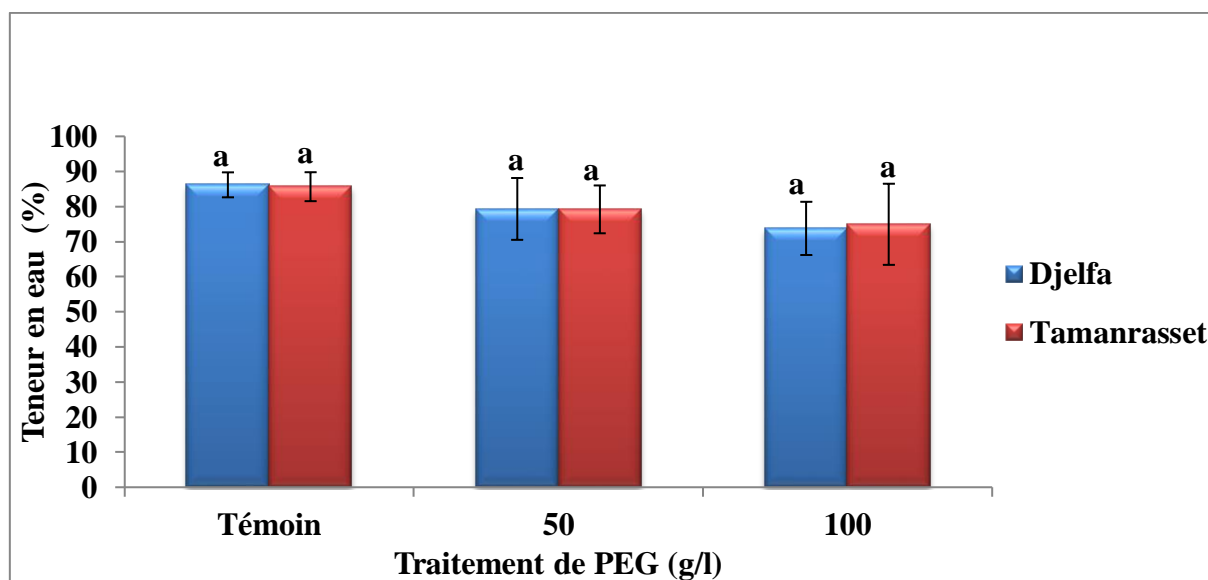


Figure 14 : Effet du NaCl à différentes concentrations sur la teneur en eau chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.

## 1.2. Effet du stress hydrique sur la teneur en eau chez les deux écotypes :

Les résultats de l'effet du stress hydrique sur la teneur en eau chez les deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset) sont regroupés dans la **figure 15**. Les résultats montrent que le stress hydrique n'influe pas sur la teneur en eau chez les plantules des deux écotypes. Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance ANOVA qui montre aucune différence n'a été remarqué entre les traitements (Tableau2, Annexe).

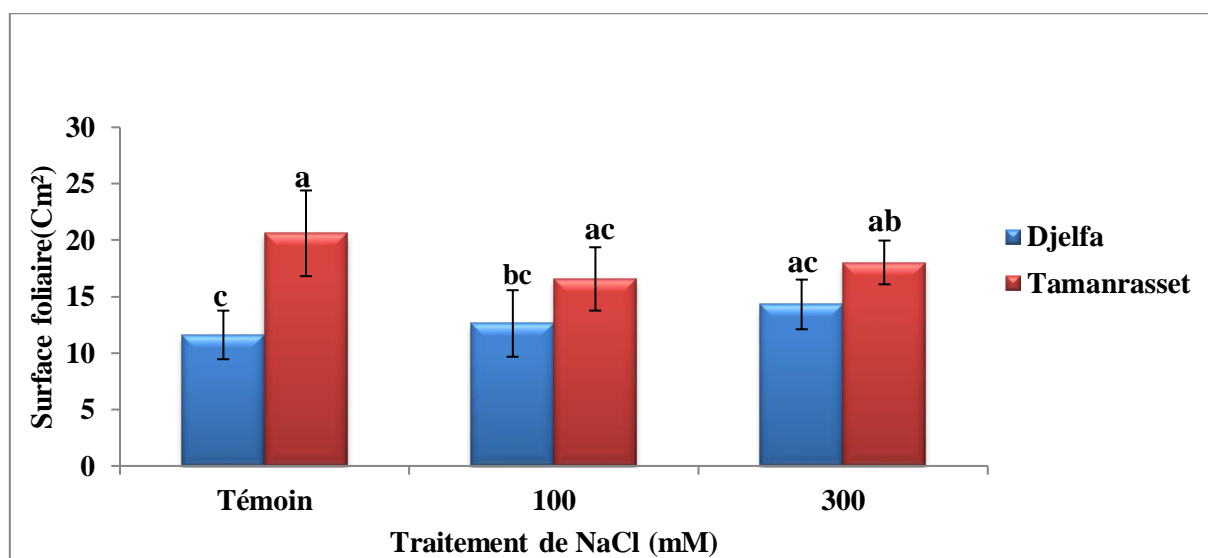


**Figure 15 : Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la teneur en eau chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.**

## 2. Surface foliaire :

### 2.1. Effet du stress salin sur la surface foliaire chez les deux écotypes :

Les résultats de l'effet du stress salin sur la surface foliaire des plantules des deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset) sont regroupés dans la **figure 16**. Nous remarquons une différence très hautement significative entre les deux écotypes ( $P=9.395e-05$ ). Les résultats montrent que la surface foliaire des plantules provenant de la région de Tamanrasset est plus importante que celle de Djelfa. Pour les deux écotypes étudiés, aucune différence de surface foliaire n'est observée entre les témoins et les plantules stressées (Tableau3, Annexe).



**Figure 16 : Effet du NaCl à différentes concentrations sur la surface foliaire chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.**



## 2.2. Effet du stress hydrique sur la surface foliaire chez les deux écotypes :

Les résultats de l'effet du stress hydrique sur la surface foliaire chez les deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset) sont regroupés dans la **figure 17**. Il y a une différence très hautement significative entre les différentes doses de NaCl ( $P=3.975e-07$ ) et entre les deux écotypes étudiés ( $P=6.070e-05$ ). Les plantules issues des graines de Tamanrasset présentent des surfaces plus importantes avec 20.60, 8.31 et 5.40 cm<sup>2</sup> par rapport à l'écotype de Djelfa où les valeurs sont de 11.60, 4.13 et 2.79 cm<sup>2</sup> pour les témoins et les plantules stressées avec 50 et 100 g/l, respectivement. Nous remarquons aussi qu'il y a une diminution de la surface foliaire chez les plantules soumises à la contrainte hydrique (50 et 100g/l de PEG6000) par rapport aux témoins chez les deux écotypes.

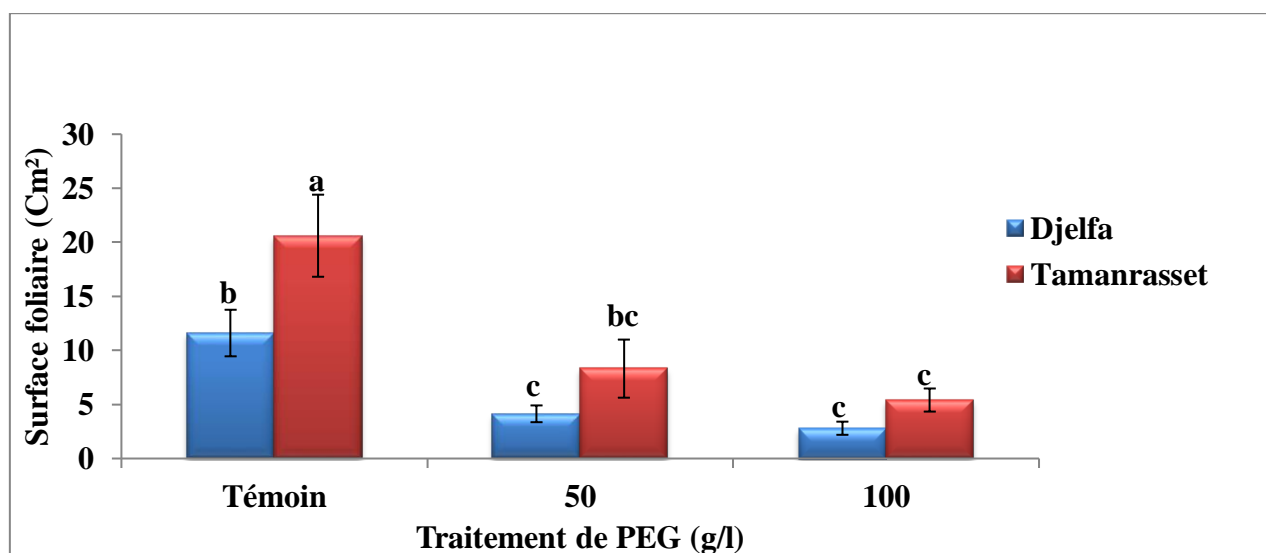


Figure 17 : Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la surface foliaire chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.

### 3. Longueur de la partie aérienne et racinaire :

#### 3.1. Effet du stress salin sur la longueur de la partie aérienne chez les deux écotypes :

L'analyse de la variance ANOVA ne montre pas de différence entre les traitements (Tableau5, Annexe). Les résultats obtenus indiquent que le stress salin induit par les différents traitements en NaCl n'influe pas sur la croissance en longueur de la partie aérienne de l'écotype de Tamanrasset. Par contre nous remarquons une légère différence de l'effet du stress salin chez l'écotype de Djelfa avec 38.33 et 33.33 cm pour les traitements en NaCl à 100 et 300 mM respectivement, par rapport aux témoins qui présentent une longueur de 42.68 cm. (Figure 18).

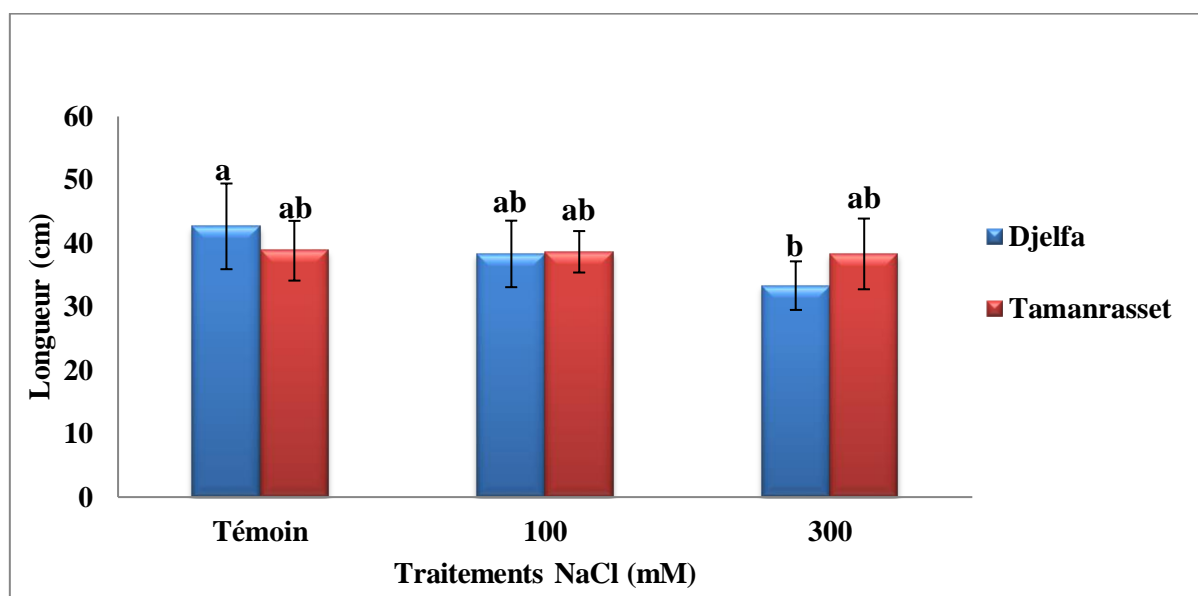
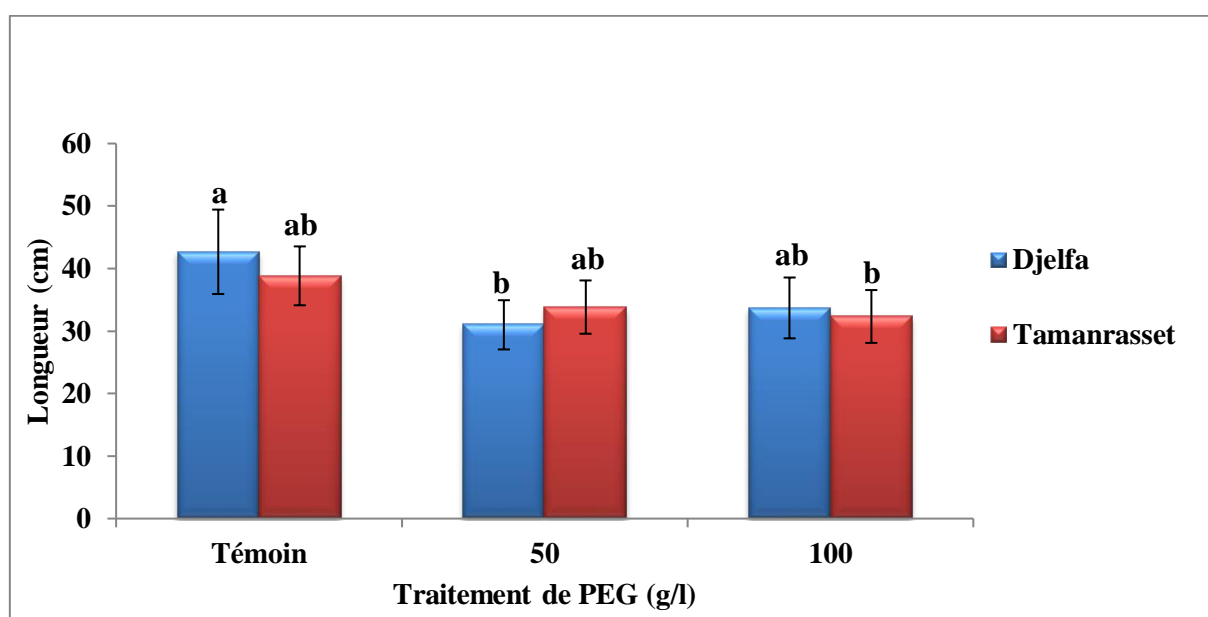


Figure 18 : Effet du NaCl à différentes concentrations sur la longueur de la tige chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.

### 3.2. Effet du stress hydrique sur la longueur de la partie aérienne chez les deux écotypes :

Les résultats de la **figure 19** et l'analyse de variance montrent qu'il y a une différence très hautement significative entre les traitements ( $P= 0.0004913$ ). Nous remarquons qu'il y a une diminution de la moyenne de la longueur de la partie aérienne des plantules stressées par rapport aux témoins chez les deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset). Les plantules issues de Tamanrasset, les longueurs sont de 38.83, 33.83 et 32.33 cm, comparées aux plantules de Djelfa qui sont de 42.68, 31 et 33.7 cm pour les témoins et les plantules stressées avec 50 et 100 g/l, respectivement.

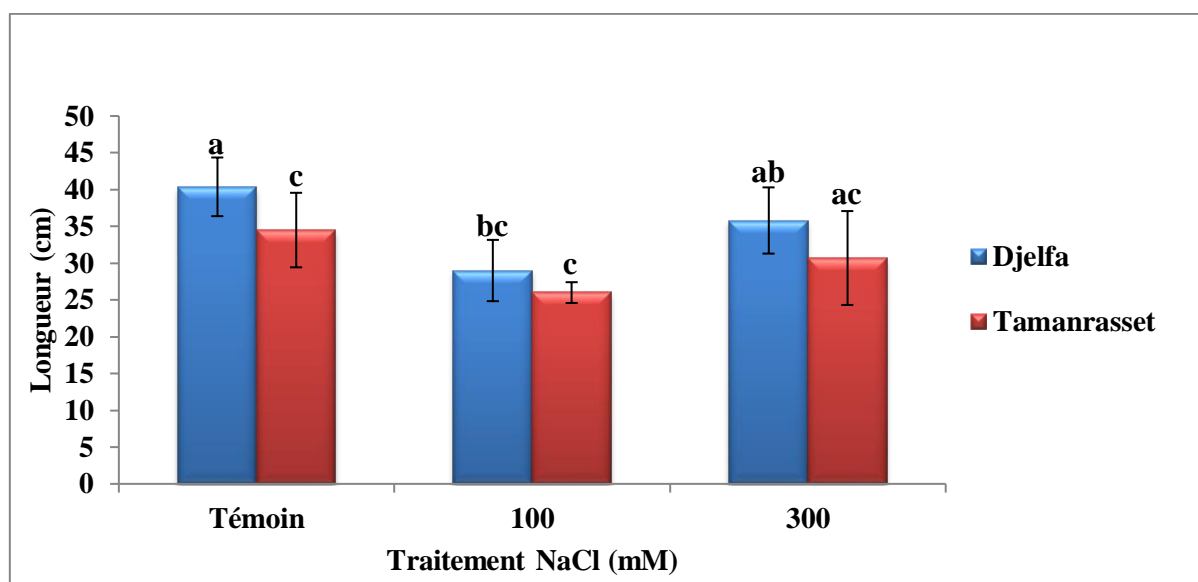


**Figure 19 : Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la longueur de la tige chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.**

### 3.3. Effet du stress salin sur la longueur de la partie racinaire chez les deux écotypes :

Les résultats de l'effet du stress salin sur la croissance de la partie racinaire chez les deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset) sont regroupés dans la **figure 20**.

L'analyse de variance montre une différence significative entre les différents traitements ( $p= 0.0254047$ ), et entre les populations ( $p= 0.0002905$ ). Chez l'écotype de Tamanrasset, aucune différence n'a été remarquée entre les différents traitements par rapport au témoin. Par contre, chez les plantules issues des graines de Djelfa les valeurs enregistrées indiquent qu'il y a une diminution marquée dans le traitement 100 mM (29 cm), par rapport le témoin (40.37cm) et le traitement 300 mM (35.8cm). Les valeurs enregistrées chez l'écotype Djelfa sont plus grandes que celles de Tamanrasset.

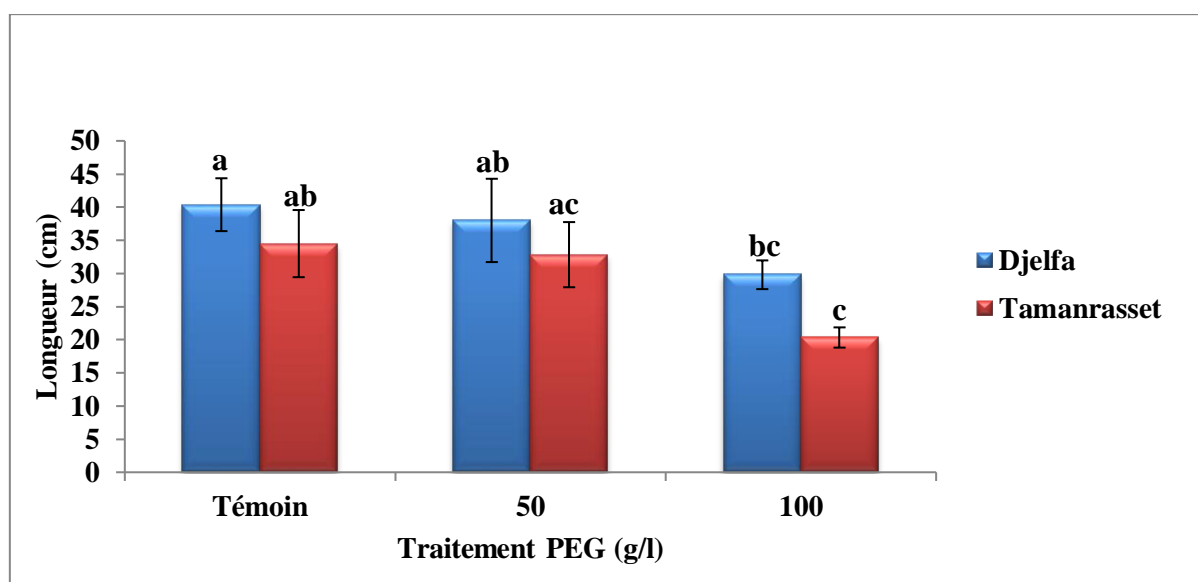


**Figure 20 : Effet du NaCl à différentes concentrations sur la longueur de la racine chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.**

### 3.4. Effet du stress hydrique sur la longueur de la partie racinaire chez les deux écotypes :

Les résultats de l'effet du stress hydrique sur la croissance de la partie racinaire chez les deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset) sont regroupés dans la **figure 21**.

L'analyse de la variance indique qu'il y a une différence très hautement significative entre les différents traitements ( $p= 0.0005655$ ), ainsi qu'une différence hautement significative entre les populations ( $p= 0.0061511$ ). Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique influe sur la longueur de la partie racinaire des plantules des deux écotypes. Nous observons qu'il y a une diminution de la moyenne de la longueur des racines chez les plantules stressées des par rapport aux plantules témoins. Les plantules issues des graines de Djelfa présentent des longueurs plus importantes avec 40.375, 38 et 29.8 cm par rapport à l'écotype de Tamanrasset où les valeurs sont de 34.5, 32.83 et 20.33 cm pour les témoins et les plantules stressées avec 50 et 100 g/l, respectivement.



**Figure 21: Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la longueur de la racine chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.**

#### 4. Pigments chlorophylliens :

##### 4.1. Effet du stress salin sur la concentration en chlorophylles (a) chez les deux écotypes :

Les résultats obtenus montrent que le stress salin influe sur la moyenne de la teneur en chlorophylle (a) (**figure 22**). Il y a une différence statistique entre les traitements ( $P= 1.458e-09$ ) et aussi entre les populations ( $P= 0.0007960$ ). Chez Tamanrasset, nous remarquons une augmentation de la teneur dans le traitement 300 mM par rapport au traitement 100 mM (1.08 et 0.35 mg/g de PF, respectivement). Par contre, les teneurs en chlorophylle (a) chez les plantules de Djelfa diminuent lorsque les plantules sont exposées à 100 et 300 mM de NaCl avec 0.55 et 0.44 mg/g de PF, respectivement.

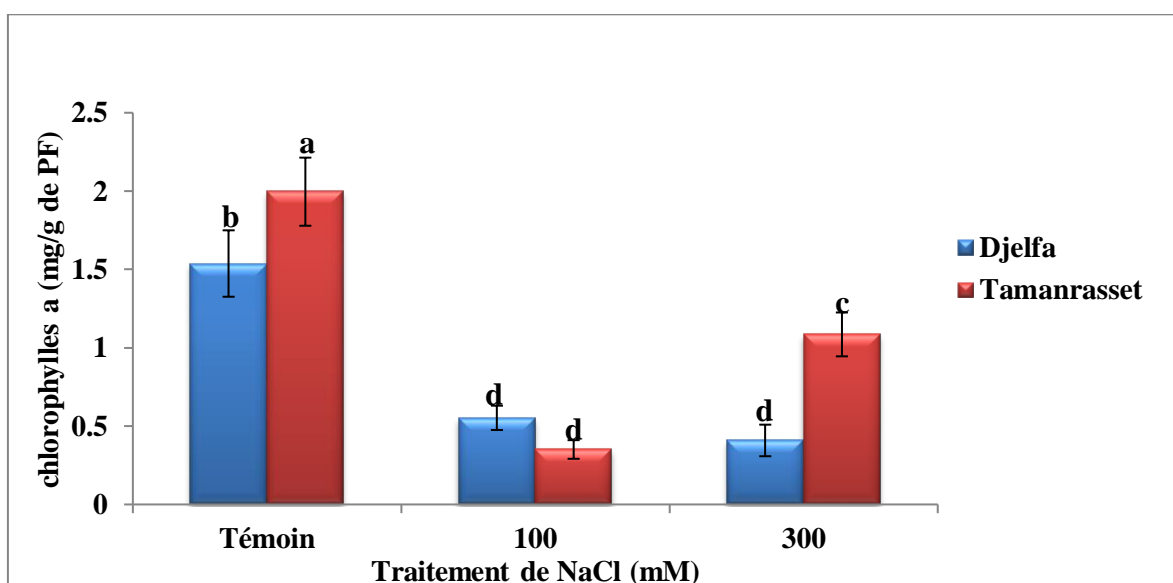


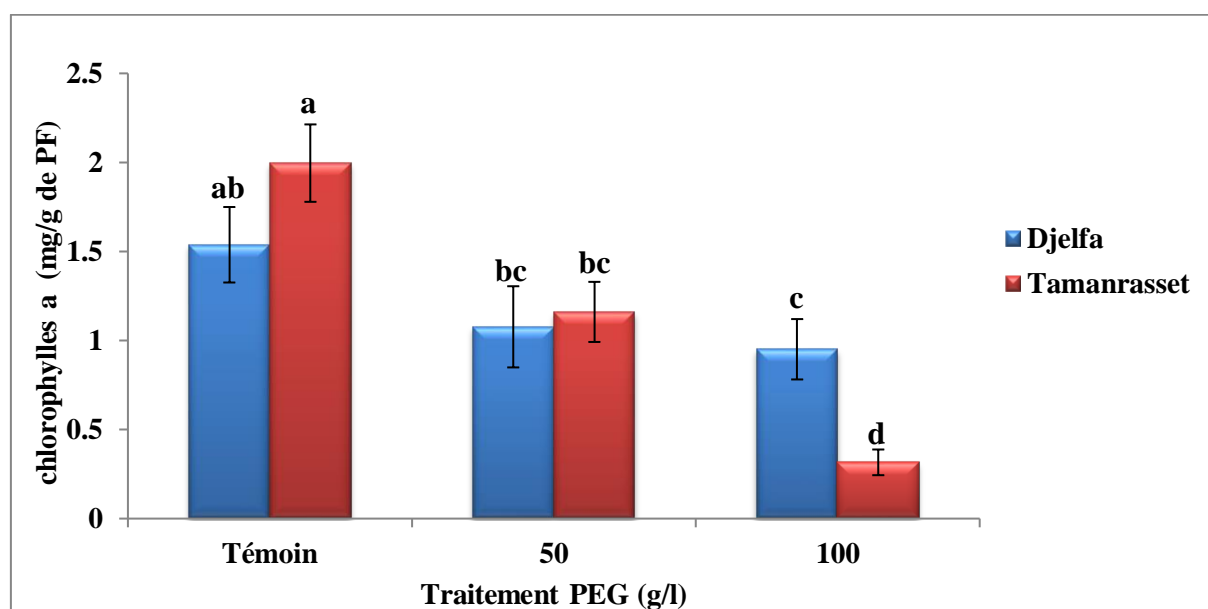
Figure 22 : Effet du NaCl à différentes concentrations sur la teneur en chlorophylle a chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.

#### 4.2. Effet du stress hydrique sur la concentration en chlorophylles (a) chez les deux écotypes :

Les résultats de l'effet du stress hydrique sur la moyenne de la teneur en chlorophylle (a) chez les deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset) sont regroupés dans la **figure 23**.

L'analyse de la variation indique qu'il y a une différence très hautement significative entre les différents traitements appliqués par rapport aux témoins ( $p=7.918e-07$ ). Les teneurs en chlorophylles (a) chez les 2 écotypes diminuent progressivement à mesure que la concentration augmente.

Le stress hydrique appliqué avec 50 et 100 g/l de PEG6000 induit une diminution importante de la teneur en chlorophylle (a) par rapport au témoin chez l'écotype de Tamanrasset, avec 1.16 ; 0.31 et 1.99 mg/g de PF, respectivement.



**Figure 23 : Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la teneur en chlorophylle a chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.**

### 4.3. Effet du stress salin sur la concentration en chlorophylles (b) chez les deux écotypes :

Les résultats de la **figure 24** indiquent qu'il y a une différence très hautement significative entre les populations ( $P= 5.780e-08$ ) et entre les différents traitements appliqués ( $P= 1.572e-06$ ) (Tableau11, Annexe). Les teneurs en chlorophylles (b) chez l'écotype de Tamanrasset augmentent dans le traitement 300 mM (0.30 mg/g de PF) par rapport au témoin (0.05 mg/g de PF) et le traitement 100 mM (0.10 mg/g de PF). Par contre, pour l'écotype de Djelfa, les teneurs en chlorophylles (b) diminuent dans le traitement 100 mM par rapport au témoin et le traitement 300mM (0.20 ; 0.36 et 0.28 mg/g de PF) respectivement. Nous remarquons aussi que la teneur en chlorophylles (b) des plantules stressées avec 300 mM est plus grande que celles des plantules stressées avec 100mM chez les deux écotypes.

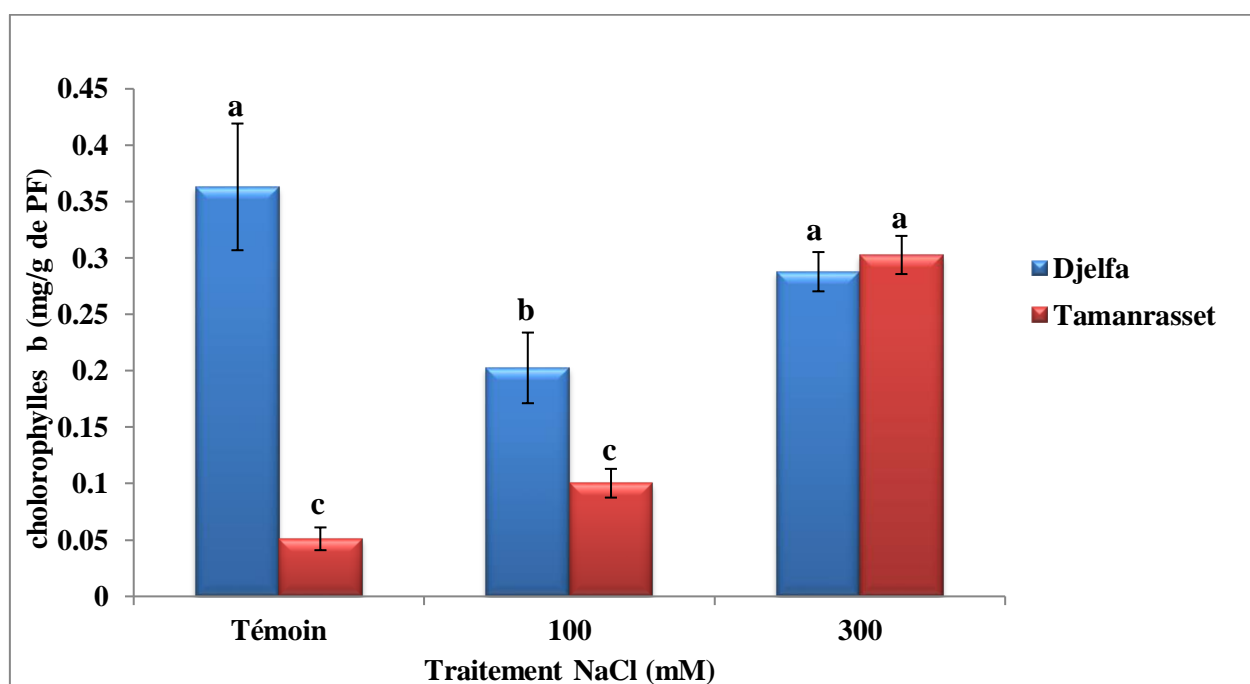


Figure 24 : Effet du NaCl à différentes concentrations sur la teneur en chlorophylle b chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.



#### 4.4. Effet du stress hydrique sur la concentration en chlorophylles (b) chez les deux écotypes :

Les résultats de la **figure 25** représentent les teneurs de chlorophylle (b) en fonction des concentrations en PEG6000. L'analyse de la variance a un critère de classification qui confirme ces résultats en montrant une différence très hautement significative entre les populations ( $P=4.149e-09$ ) et entre les traitements appliqués par rapport les témoins ( $P=4.195e-09$ ). La teneur en chlorophylle (b) augmente considérablement dans le traitement 100g/l par rapport au témoin et au traitement 50 g/l chez les deux écotypes. Les valeurs les plus élevées en chlorophylle (b) sont observées chez l'écotype de Djelfa avec 0.36, 0.56 et 1.08 mg/g de PF par rapport à l'écotype de Tamanrasset où les valeurs sont de 0.05, 0.21 et 0.33 mg/g de PF pour les témoins et les plantules stressées avec 50 et 100 g/l, respectivement.

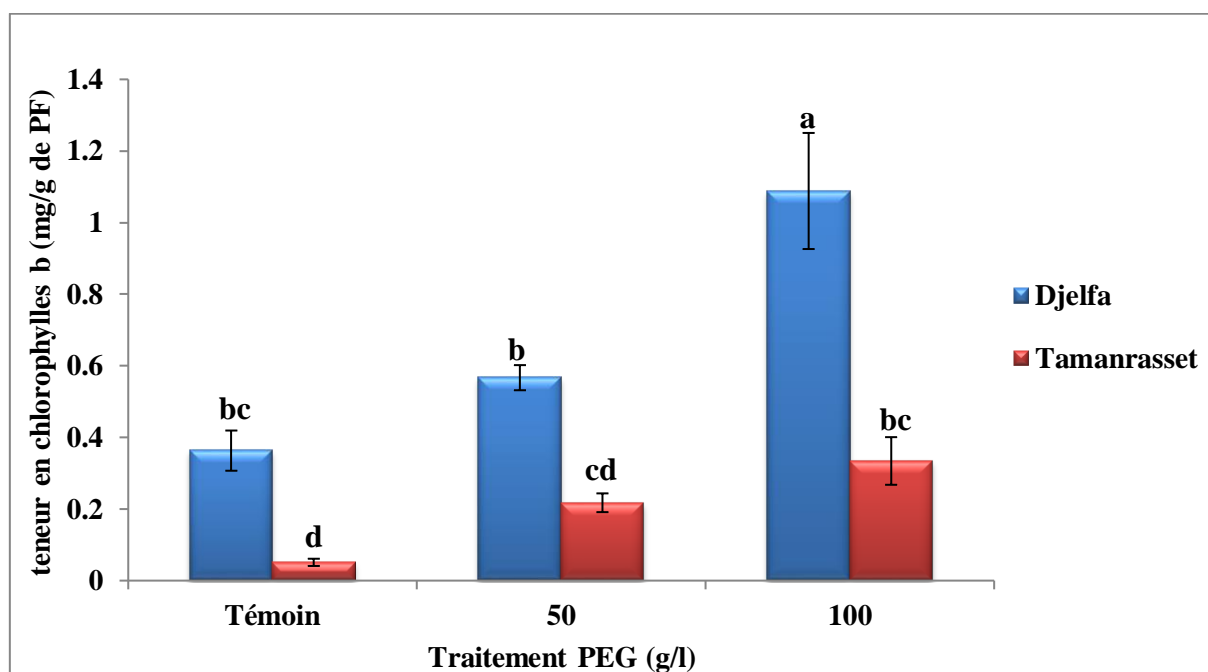
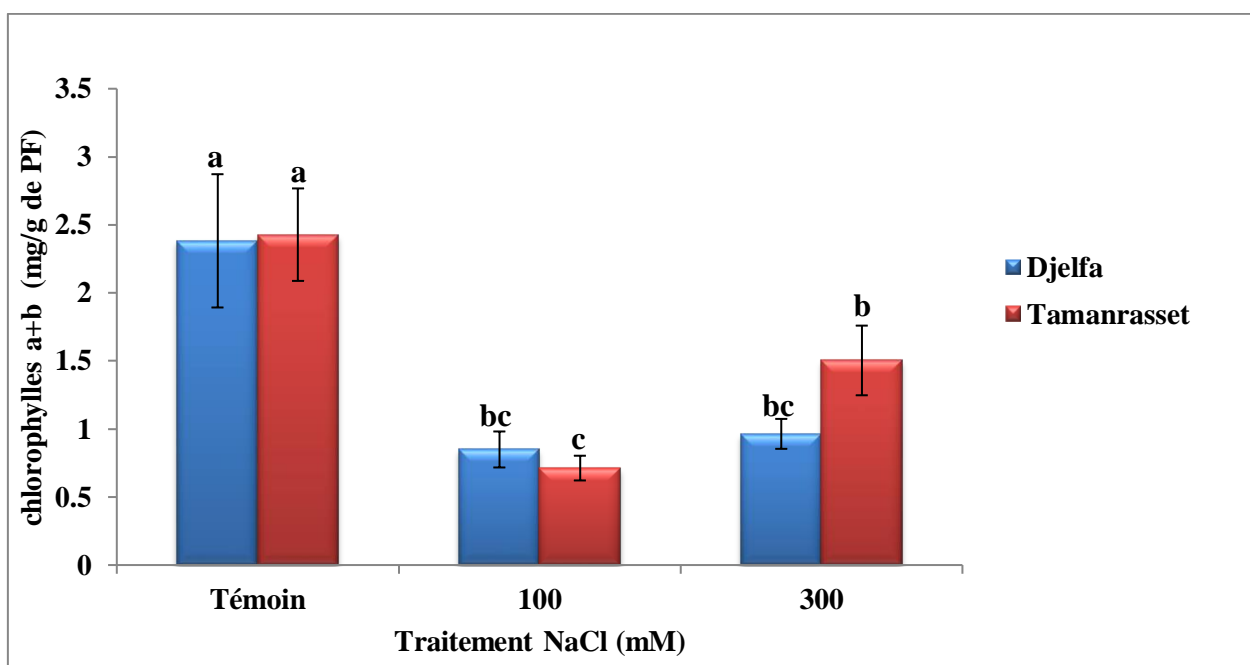


Figure 25 : Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la teneur en chlorophylle b chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.

#### 4.5. Effet du stress salin sur la concentration en chlorophylles (a+b) chez les deux écotypes :

L'effet du stress salin sur la teneur en chlorophylles (a+b) des plantules des 2 écotypes est représenté dans la **figure 26**.

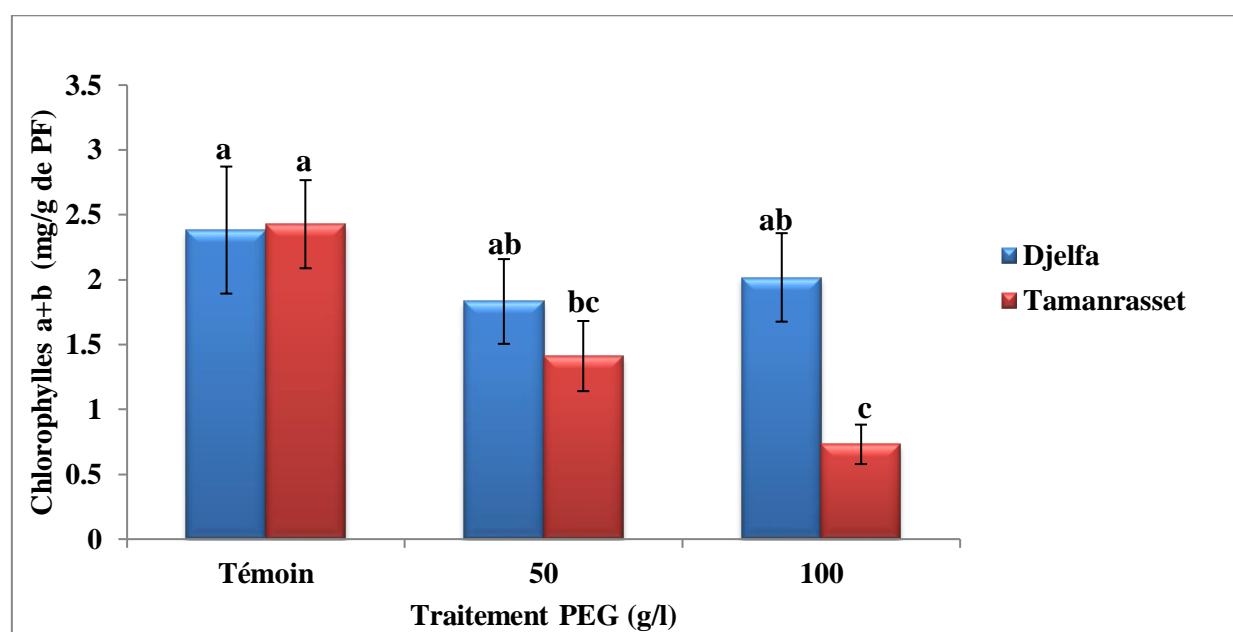
L'analyse de variance montre qu'il ya une différence très hautement significative entre les différents traitements appliqués ( $p= 1.783e-07$ ), aucune différence n'est observée entre les deux écotypes ( $p= 0.3273$ ). Les résultats obtenus montrent qu'il y a une diminution de la teneur en pigments chlorophylliens (a+b) dans les feuilles des plantules stressées par rapport aux témoins (2.38, 2.42 mg/g de PF), il y a aussi une augmentation de la teneur en chlorophylle de traitement 300 mM (0.96, 1.50 mg/g de PF) par rapport au traitement 100 mM (0.84, 0.71 mg/g de PF), respectivement.



**Figure 26 : Effet du NaCl à différentes concentrations sur la teneur en chlorophylle a+b chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.**

#### 4.6. Effet du stress hydrique sur la concentration en chlorophylles (a+b) chez les deux écotypes :

La **figure 27** illustre l'effet du stress hydrique sur la teneur en chlorophylle (a+b) chez les 2 écotypes. L'analyse de variance indique qu'il y a une différence très hautement significative entre les différents traitements appliqués ( $P= 0.0004699$ ) et une différence hautement significative entre les populations ( $P= 0.0018409$ ). Les résultats obtenus montrent qu'il y a une diminution des teneurs en chlorophylle (a+b) chez les plantules stressées (1.41 mg/g de PF, 2.42 mg/g de PF chez 50 et 100 g/l, respectivement) par rapport aux témoins (2.42 mg/g de PF), chez l'écotype de Tamanrasset. Par contre chez les plantules de Djelfa, aucune différence n'a été remarquée entre les plantules stressées et le témoin.



**Figure 27 : Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la teneur en chlorophylle a+b chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.**

#### 4.7. Effet du stress salin sur la concentration en caroténoïdes chez les deux écotypes :

Les résultats de l'effet du stress salin sur la teneur des caroténoïdes sont indiqués dans la figure 28. L'analyse de la variance ANOVA indique qu'il y a une différence très hautement significative entre les différents traitements appliqués ( $P= 7.536e-08$ ). Nous remarquons qu'il y a une diminution des la teneur en caroténoïdes dans les différents traitements par rapport aux témoins. Chez l'écotype de Tamanrasset, la teneur en caroténoïdes chez les plantules stressées avec 300 Mm (0.27mg/g de PF) de NaCl est plus importante que celles chez les stressées avec 100 mM de NaCl (0.51 mg/g de PF). Chez l'écotype de Djelfa la teneur en caroténoïdes diminuent progressivement à mesure que la concentration du stress augmente.

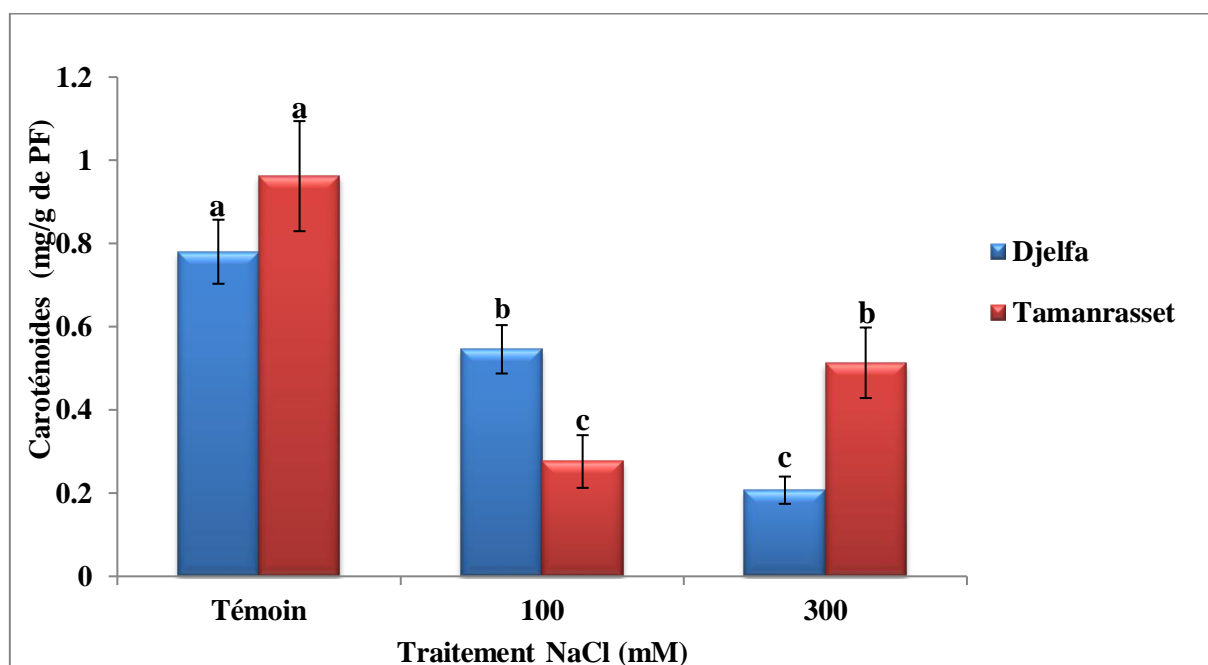


Figure 28 : Effet du NaCl à différentes concentrations sur la teneur en caroténoïdes chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.

#### 4.8. Effet du stress hydrique sur la concentration en caroténoïdes chez les deux écotypes :

Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique influe sur la moyenne de la teneur en caroténoïdes (**Figure 29**). L'analyse de la variance ANOVA indique une différence très hautement significative entre les populations ( $P= 0.000126$ ), et aussi entre les différents traitements ( $P= 1.205e-09$ ). La teneur en caroténoïdes chez l'écotype de Tamanrasset diminue progressivement à mesure que l'intensité en stress augmente, les valeurs sont de 0.96, 0.59 et 0.15 mg/g de PF pour les témoins et les plantules stressées avec 50 et 100 g/l, respectivement. Chez l'écotype de Djelfa, la teneur diminue chez les plantules stressées par 50 et 100g/l par rapport au témoin (0.27, 0.12 et 0.78 mg/g de PF, respectivement).

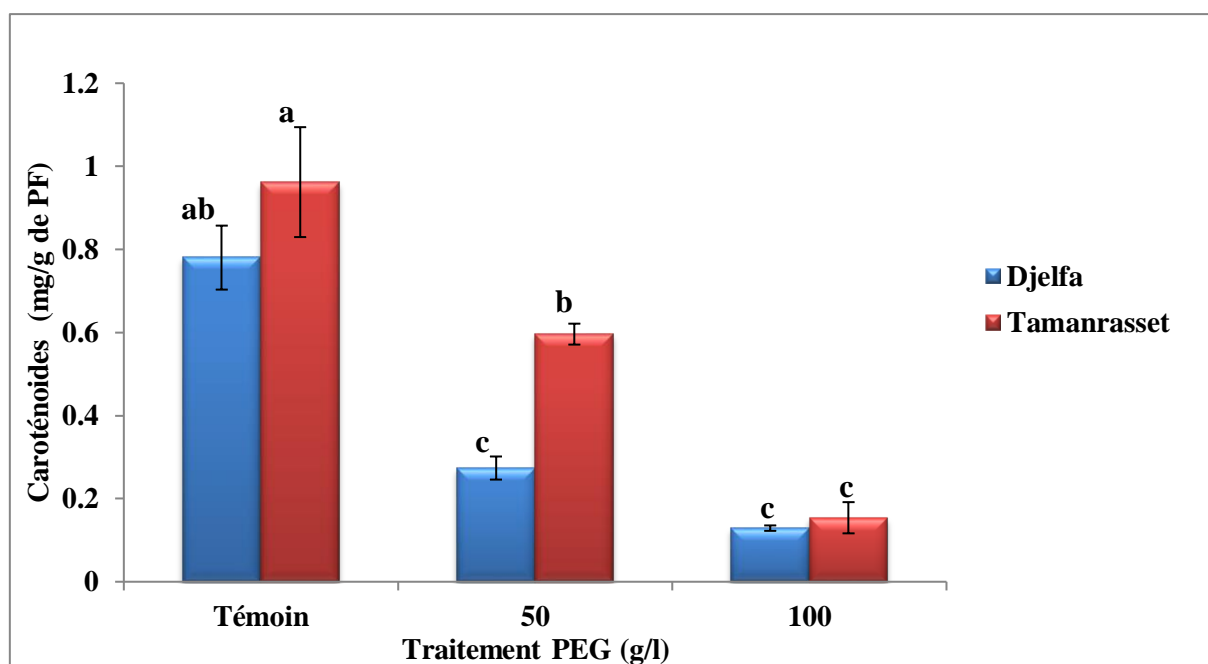


Figure 29 : Effet du PEG6000 à différentes concentrations sur la teneur en caroténoïdes chez les deux écotypes d'*Atriplex halimus* L.

## DISCUSSION :

Les paramètres morphologiques étudiés nous renseignent sur la réponse des deux écotypes d'*Atriplex* en situation de stress hydrique et salin.

### 1. Teneur en eau :

La teneur en eau des plantes est un excellent facteur physiologique permettant d'évaluer l'état hydrique de la plante face aux contraintes abiotiques. Les résultats obtenus indiquent que les plantes d'*Atriplex* des

deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset) ont réagi de la même manière aux différents niveaux de stress salin et hydrique (figure 14 et figure 15), Les deux stress n'influent pas sur la teneur en eau. L'*Atriplex halimus* s'adapte aux fortes concentrations salines et hydriques. Nos résultats sont similaires aux travaux dont d'*Atriplex halimus* L. signales par **Bajji et al., (1998)** où ils ont enregistré que le stress salin n'affecté pas la teneur en eau chez les plantes stressées aux sels à 0, 150 et 300mM de NaCl, même constatation relevé chez **Annou et Ould El-Hadj (2012)** qui ont trouvé une teneur en eau élevés chez l'halophyte spontanée *Sueada mollis* subi sous un déficit hydrique au l'échantillonnage à été effectué en deux temps avant et après l'irrigation. Dans des conditions de faible potentiel hydrique causées par des contraintes osmotiques comme la sécheresse ou une forte salinité, certaines plantes peuvent accumuler activement diverses substances pour l'ajustement osmotique, et ainsi améliorer la capacité d'absorption et de rétention de l'eau, qui joue un rôle essentiel dans la survie des plantes et s'adaptant ainsi à l'environnement de stress hydrique (**Guerrier, 1996; Ashraf et Foolad, 2007; Gu et al., 2016**). D'après **Brady, (2002)**, la succulence (richesse en eau) peut être considérée comme un mécanisme compensatoire pour réguler la concentration interne en sel par dilution. D'autre part, Selon **Lowry(1951)**, les concentrations élevées en sels génèrent de bas potentiels hydriques du sol, une forme de sécheresse physiologique, qui rend de plus en plus difficile l'acquisition d'eau et de nutriments par les plantes. Les cellules devront donc réagir en diminuant leur potentiel interne. Ce qui permet à la plante d'assurer une hypertonie constante, renforcée par l'absorption de sel et sa conduite vers les feuilles et c'est le mécanisme principal caractéristique des halophytes qui leur permet de s'adapter à ces conditions édaphiques difficiles (**Paquin, 1986**).

Nous pouvons conclure que les deux écotypes d'*Atriplex* s'adaptent aux conditions défavorables stressantes (salinité et/ou manque d'eau) et ces contraintes n'affectent et ne lèsent pas les cellules.

## **2. Surface foliaire :**

La salinité n'influe pas sur la surface foliaire d'*Atriplex halimus* L., chez les plantules des deux écotypes. Nos résultats ne concordent pas avec les résultats de **Mezni et al., (2012)**, qui ont enregistré une diminution de la surface foliaire chez les trois cultivars de *Médicago Sativa* L. stressées à 0, 2.5, 5 et 10 g/l de NaCl. Beaucoup de chercheurs ont indiqué que lorsque la salinité augmente, la surface foliaire diminue, cette diminution variant en fonction de la dose de stress appliquée (**Augé et al., 1986**). D'après **Blum et al., (1981)**, Les concentrations élevées de NaCl réduisent significativement la surface foliaire et augmentent la densité stomatique : on en déduit donc que les feuilles ferment généralement chez tous les halophytes leurs stomates lorsque le stress salin s'intensifie afin de minimiser les pertes en eau. Une limitation de la surface foliaire et le contrôle de l'ouverture et la fermeture des stomates ont été adoptés

par le stress salin (**Blum et al., 1981 ; Araus et al., 2008**). Selon **Omani et al., 2006**, la réduction de la surface foliaire face à une contrainte saline a été considérée comme un processus d'adaptation à travers une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau. Ce qui illustre que la plante appréhende la présence de fortes concentrations en sodium dans le sol et réoriente la croissance des racines dans des zones humides à la recherche de l'eau (**Yonghao et al., 2011**).

Selon **Lebon et al., (2004)** la surface foliaire est un déterminisme important de la transpiration. Une des premières réactions des plantes au déficit hydrique est de réduire la surface foliaire, on note principalement une diminution importante de la taille et de la surface foliaire. Cette diminution est une des réponses des végétaux à la déshydratation, elle contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante. La diminution de la surface foliaire des feuilles est considérée comme une réponse ou adaptation au manque d'eau (**Blum., 1996**). Cela prouve les résultats obtenus sur les deux écotypes testés montrent une diminution de la surface foliaire à mesure que le stress augmente.

Les plantules des deux écotypes tolèrent les concentrations élevées de la salinité jusqu'à 300mM de NaCl, par contre sous un stress hydrique les plantules des deux écotypes diminuent progressivement leur surface foliaire à mesure que le stress augmente, cette adaptation est une forme de résistance à la sécheresse.

### **3. Longueur de la partie aérienne et racinaire :**

Selon **Jamil et Rha, (2004)**, la longueur des racines et des tiges sont les paramètres les plus essentiels dans l'étude de la réponse des plantes au stress salin, du moment que les racines sont en contact direct avec le sol permettant une absorption de l'eau et acheminant les éléments minéraux, et au reste de la plante plus précisément vers les parties chlorophylliens par le biais des vaisseaux conducteurs.

Les résultats de la longueur de la tige des plantes stressées avec du NaCl, chez l'écotype de Djelfa une légère diminution de la moyenne de la longueur de la partie aérienne des plantules stressées par le traitement 300 mM par rapport au témoin. Par contre chez l'écotype de Tamanrasset, aucune différence n'a été remarquée entre les plantes stressées et le témoin. Cela montre que la plante de l'écotype Tamanrasset résiste au stress salin en tolérant une concentration élevée de NaCl. La diminution de la longueur de la tige a été observée chez *Atriplex halimus* par (**Benrebiha, 2003**) qui a aussi enregistré une diminution de la longueur de la tige chez les plantes stressées aux sels à 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 et 40g/l de NaCl. **Akram et al., (2002)** montrent que la diminution de la longueur des tiges explique la diminution de la taille des cellules parenchymateuses. Plusieurs travaux ont montré le caractère halophyte des *Chenopodiacees* en particulier celle du genre *Atriplex*, la croissance de la partie aérienne diminue avec l'intensité du stress (**Rahmoune et al., 2008**). Selon **Yeo, (1983) ; Zhu, (2002) in Lamzeri, (2007)**,

pour s'adapter au stress salin, la plante peut éviter les dommages par la réduction de la croissance, c'est l'effet le plus commun des stress abiotiques sur la physiologie des plantes. La réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique.

D'autre part les résultats de la longueur de la partie racinaire des plantes stressées par le NaCl indique que l'apport de sel n'influe pas sur la longueur de la partie racinaire chez l'écotype de Tamanrasset comparée à celui de Djelfa où une diminution de longueur des plantules stressées par le traitement 100 mM par rapport au témoin a été observée. La diminution de la taille de la racine est due aux conséquences des stress abiotiques qui sont responsables d'une perte considérable et lisible du rendement avec une estimation de 50% (**Bray et al., 2000 in Vincent, 2006**). La diminution de la croissance de l'appareil végétatif est accompagnée d'une réduction de l'organogenèse foliaire et racinaire. Cependant les résultats indiquent que les parties souterraines sont plus affectées comparées à la partie aérienne. Le stress salin inhibe la croissance des plantules et leur développement (**Ferdose et al., 2009; Lepengue et al., 2010; Sisilva et al., 2014**). Des résultats similaires ont été observés chez *Hordeum vulgare* où le stress salin a réduit la croissance des jeunes feuilles et des racines (**El Goumi et al., 2014**). **Bajji et al., (1998)**, rapportent que, le taux de croissance relatif de la partie aérienne, décroît à partir de les concentrations de 150 mM de NaCl par rapport aux racines où elles ne sont pas affectées. Le taux de croissance des racines, diminue progressivement à des stress de forte intensité à partir de 300mM. Ainsi, nos résultats corroborent avec ceux des auteurs où il précise que la nature halophile d'*Atriplex halimus* est marquée.

L'effet du stress hydrique sur la longueur de la tige des plantules d'*Atriplex halimus*, ont montré que la réponse à cette contrainte dépend de l'intensité du stress appliqué. Une diminution a été observée chez les plantules stressées à partir de 50 g/l de PEG 6000 chez l'écotype Djelfa comparées à ceux des plantules issues des graines de Tamanrasset où aucune différence ce n'est observées. **Hopkins (2003)** souligne que la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress hydrique. Ces résultats sont cohérents avec ceux observés chez d'autres espèces telles que l'arganier (**Berka et Aïd, 2009**), le casuarina (**Albouchi et al., 2003**) et le cèdre (**Aussenac et Finkelsten, 1983**) qui ont montré une nette diminution de la croissance en hauteur des plantes soumises à différentes contraintes hydriques. Cette réduction peut s'expliquer par un retard dans la croissance végétative suite à une baisse de divisions cellulaires induite par un déficit hydrique qui empêche l'absorption de l'eau par les racines (**Oukara et al., 2017**) et ainsi l'acheminement des éléments vers les feuilles pour la synthèse des glucides nécessaires à la croissance des plantes.

L'augmentation de la contrainte hydrique a provoqué un allongement de la racine principale du pistachier de l'Atlas accompagnée d'une disparition successive des racines secondaires (**Oukara et al., 2017**). Cette réponse morphologique est fréquemment rencontrée chez les espèces ligneuses aptes à tolérer la



contrainte hydrique. L'extension du système racinaire, en réponse à l'application d'une contrainte saline ou hydrique contribue à l'absorption de l'humidité des couches les plus profondes du sol (**Khaldoun et al., 1990**), ces résultats des travaux des chercheurs ne concordent pas avec nos résultats obtenus où on remarque une diminution de la longueur de la partie racinaire chez les plantules des deux écotypes surtout sous le traitement maximale de 100g/l de PEG6000.

Les résultats obtenus lors de notre expérimentation montrent que les parties racinaires sont plus touchées comparées à celles de la partie aérienne chez et ceci est confirmé pour les deux stress abiotiques appliquées, et notons que les grains proviennent de la région de Tamanrasset ont montré une tolérance plus marquée comparées à celles récoltées de Djelfa explique due à l'aridité et semis aride.

#### **4. Pigments chlorophylliens :**

Les résultats obtenus sur l'action du stress salin et hydrique sur les pigments chlorophylliens a, b, a+b et les caroténoïdes dans les feuilles montrent que la teneur chlorophyllienne varie en fonction de l'écotype et des concentrations choisies. Pour les deux stress appliqués, nous remarquons que les teneurs en pigments chlorophylliens a, a+b et les caroténoïdes des 2 écotypes réagissent de la même manière, par une diminution observée chez les plantules stressées par rapport aux témoins. Par contre nous remarquons sous le stress salin appliqué une montre augmentation de la teneur en chlorophylle b observée chez les plantules stressées de l'écotype Tamanrasset, comparé à celui de Djelfa ou le traitement de 300 mM n'affecte pas la teneur en chlorophylle b. Les plantules des deux écotypes privés d'eau (stress hydrique) réagissent de la même manière avec une augmentation progressive de la teneur en chlorophylle b à mesure que la concentration du stress augmente. Selon **Hikosaka et al., (2006)**, la quantité de chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles et les facteurs environnementaux. La diminution du taux des chlorophylles et des caroténoïdes est probablement due à la surface foliaire. Ainsi, la réduction de la surface foliaire semble être une des causes de la diminution de la teneur en pigments photorécepteurs chez l'*Atriplex halimus*. En effet, **Cooper et al., (1986)** ont précisé que la diminution de la photosynthèse chez les plantes est liée à la diminution du nombre de stomates mis en jeu et leur degré d'ouverture. Il semble que l'augmentation de la résistance stomatique soit surtout le fait d'une réduction du nombre de stomates (**Ownbey et Mahall, 1983**). La diminution de la surface foliaire peut être causé d'une part, par l'effet de l'acide abscissique en réponse au stress qui réduit aussi la radiation absorbée (**Andersen et Turner, 1976**) et l'abscission des feuilles et d'autre part, par la fermeture des stomates (**Harrung et al., 1988**). Selon **Albert et Thornber (1977)**. La réduction de la teneur en chlorophylles est liée à la diminution de la teneur des protéines thylacoïdales, qui sont associées aux chlorophylles a et b. D'autre part nos résultats ne concordent pas

avec ceux obtenus par **Bouchenak, 2014** qui a souligné que le stress salin à 150, 300 et 450mM n'influe pas sur la moyenne de la teneur en chlorophylles (a), chlorophylle (b) ,chlorophylle (a+b) et caroténoïdes. Cette espèce tolère une forte concentration de NaCl en élaborant normalement l'activité photosynthétique et la production de la matière organique (**Bouchenak, 2014**). En effet nous pouvons déduire comme hypothèse qui reste à confirmer que les plantules ont subi un autre stress dans la serre qui n'est pas contrôlée.

Nous concluons que les deux stress à un effet significative sur les teneurs en chlorophylles a, b, a+b, et les caroténoïdes.

# Conclusion

## Conclusion et perspectives :

Tout être vivant peut être exposé au stress à un moment donné. On parle de stress lorsque les conditions de l'environnement s'éloignent de l'optimum requis pour le fonctionnement normal de l'organisme. Parmi les stress qui peuvent affectés les plantes, les stress abiotiques qui sont liés aux conditions agro-édaphiques du milieu. Les végétaux sont exposés aux différents types de stress et arrivent à survivent dans ces conditions défavorables. Pour ce le seul moyen de défense est donc leur capacité à tolérer le stress soumis. Parmi les stress abiotiques qui ont un effet néfaste sur les végétaux et les rendements, nous relevons pour le stress hydrique et le stress salin, la tolérance à ces deux stress déterminent la répartition des végétaux sur la surface de la terre.

A travers cette étude, l'effet des différents niveaux de concentrations en sel (NaCl) et en polyéthylène glycol (PEG 6000) sur les paramètres morphologiques des plantules d'*Atriplex halimus* L. des deux écotypes testés (Djelfa et Tamanrasset).

Nos confirment que les deux stress abiotiques sur la teneur en eau des plantules montrent que les teneurs en eau restent moyennement élevées malgré les différentes doses sévères appliquées allant jusqu'à 300mM de NaCl et 100g/l de PEG6000. Cela montre que l'*Atriplex halimus* s'adapte sous ces conditions marginales et améliore la capacité d'absorption et de rétention de l'eau.

Concernant la surface foliaire, sous stress salin les plantules des deux écotypes étudiés n'ont pas été affecté et ce quelque soit la dose appliquée. Par contre, sous stress hydrique les plantules des deux écotypes diminuent considérablement leurs surfaces foliaires et cela a été considéré comme un processus d'adaptation à travers une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau, la surface foliaire sous les deux contraintes (salin et hydrique) chez l'écotype de Tamanrasset est plus grands que celle de Djelfa cela montre que les plantules de l'écotype de Tamanrasset sont plus tolérantes que celles de l'écotype de Djelfa à la sécheresse et la salinité.

Les résultats obtenus concernent la longueur de la partie aérienne et souterraine sous l'effet des deux stress montrent que sous le stress salin la longueur de la partie aérienne chez l'écotype de Djelfa diminue considérablement à l'approche de concentration de 300mM, en effet pour s'adapter au stress salin, la plante peut éviter les dommages par la réduction de la croissance. Chez l'écotype de Tamanrasset aucune différence n'a été remarquée entre les plantules stressées par rapport au témoin. Cela montre que la plante de l'écotype Tamanrasset résiste au stress salin en tolérant une concentration élevée de NaCl jusqu'à 300mM. Par contre, la longueur de la partie racinaire sous le stress salin chez les plantules de l'écotype Tamanrasset aucune différence n'a été remarquée entre les plantules stressées par rapport au témoin. Chez

l'écotype Djelfa la longueur des racines commencent à diminuer sous le traitement 100mM de NaCl. En effet, les parties souterraines sont plus touchées que les parties aériennes. Le stress salin inhibe la croissance des plantules et leur développement.

Quant au stress hydrique, les résultats obtenus montrent que la réponse à cette contrainte dépend de l'intensité du stress appliqué. Une diminution a été remarquée de la longueur de la partie aérienne chez les plantules issues des graines de Djelfa sous le traitement 50g/l de PEG6000, eu comparaison avec les plantules issues des graines de Tamanrasset où aucune différence n'a été signalée sous les différents traitements appliqués. Par contre nous avons remarqué que la longueur des racines une diminution a été observée chez les plantules stressées des deux écotypes testés (Djelfa et Tamanrasset) par rapport aux plantules témoins. Nous pouvons déduire que cette réaction considérée comme une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress hydrique.

Les pigments chlorophylliens a, b, a+b et le caroténoïdes, soumis aux stress salin et hydrique, montrent que la teneur chlorophyllienne varie en fonction de l'écotype et des concentrations du stress. La teneur en chlorophylle et caroténoïde sous les deux stress diminuent à mesure que le stress augmente. En effet la réduction de la teneur en chlorophylles est liée à la diminution de la teneur des protéines thylacoïdales, qui associées aux chlorophylles a et b.

D'après ce travail nous concluons que l'écotype de Tamanrasset a montré une meilleure adaptation face au stress salin et hydrique par rapport à celui de Djelfa.

A l'issue de ce travail, nous pouvons conclure que l'effet de différentes concentrations en sel (NaCl) et en polyéthylène glycol (PEG 6000) sur le comportement morphologique d'*Atriplex halimus* des deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset) a permis de mieux comprendre le comportement et le développement de cette plante vis à vis du salinité et sécheresses et ainsi de déterminer et sélectionner les espèces les mieux résistantes à ces contraintes.

### **Perspectives :**

Il est important de valoriser et d'améliorer l'espèce autochtone *Atriplex halimus*. Sa réhabilitation et sa conservation sont nécessaires pour contribuer au développement durable des zones arides. Pour cela, il est important de mieux comprendre les mécanismes qui lui permettent de s'adapter aux environnements abiotiques.

Dans ce but nous proposons :

- ✓ L'étude des mécanismes d'adaptation et de tolérance aux stress hydrique et salin tel que la proline, la glycine bétaine et le contenu en éléments minéraux.
- ✓ L'identification des mécanismes de résistance comme le système antioxydant.
- ✓ L'utilisation des techniques basées sur la description du comportement et la recherche des marqueurs moléculaires pour une amélioration de la tolérance aux stress abiotiques.

# Références Bibliographiques

## Références bibliographiques :

**Abbad A., Cherkaoui M., Wahid N., El Hadrami A. et Benchaabane A. (2004b).** Variabilités phénotypique et génétique de trois populations naturelles d'*Atriplex halimus* (L). Comptes Rendus Biologies. Vol 327, Issue 4: 371-380.

**Abd El Raheim M., D., Saleh Ibrahim, A., Gamal A. E.H., S., Asmaa M., R. (2012).** Secondary metabolites and antifertility potential of *Atriplex farinose* Forssk, *Phytopharmacology*. . 2(1) 16-25.

**Abeles, J.P., (2003).** "Cold acclimation and freezing stress tolerance role of protein metabolism". *An. Rev. Plant Physiol.*, 41187-223.

**Acevedo E., Conesa A.P., Monneveux P., Srivastava J.P., (1989).** Physiology breeding of winter cereals for stressed mediterranean environments, *INRA Stat.Bioclimatologie*, pp. 50- 66

**Acevedo E., (1991b).** Morph physiological traits of adaptation of cereals to Mediterranean environments. In *Improvement and management of winter cereals under temperature, drought and salinity stress* (ACEVEDO E., FERERES E., and GIMENEZ C. and SRIVASTAVA J.P. eds). Edit. Proceedings of the ICARDA-INIA symposium, Cordoba Spain, pp 85-96.

**ADDA A., (2006).** Étude des mécanismes d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* desf.) Thèse doctorat, Université Es-senia Oran Algérie.

**Adam, I., Michot, D., Guero, Y., Soubega, B., Moussa, I., Walter, C., (2012).** Detecting soil salinity changes in irrigated Vertisols by electrical resistivity prospection during a desalinization experiment. *Agricultural Water Management* 109, 1-10.

**Aganga A.A., Mthetho J.K. et Tshwenyane S., (2003).** *Atriplex nummularia* (Old Man Saltbush): A potential forage crop for Arid Regions of Botswana. Asian Network for Scientific Information. *Pakistan Journal of Nutrition*, Vol. 2 (2): Pp.72-75.

**Akram., M Ahmed A., Jan MM (2002).** The médicinal plants of salt range .*J.Biol .sci.* 2:1035- 1046.

**Albert RS et d Thornber J P. (1977).** Effet de stress hydrique sur le contenu et organisation de la chlorophylle dans mésophylle et bundlesheatal chloroplaste. *Physiologie végétale* 59 : 351-353.

**Albouchi A., Bejaoui Z. et El Aouni M.H. (2003).** Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère sur la croissance de jeunes plants de *Casuarina glauca* Sieb. *Sécheresse*, 14, 137-142.



**Alem C., Labhilili M., Brahmi K., Jlibene M., Nasrallah N. et Filali-Maltouf A., (2002).** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. C. R. Biologies, Vol. 325: Pp.1097-1109.

**Al hakimi A., Monneux P. and Galiba G., (1995).** Soluble sugars, proline and relative water content as traits for improving drought tolerance and divergent selection for RWC from *T.polonicum* into *T.durum*. J.Genet.Breed.49:27-244.

**Allen R.D., (1995).** Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. Plant Physiol. pp 1049-1054.

**Amigues, J.P., Debaeke, P., Itier, B., Lemaire, G., Seguin, B., Tardieu, F., Thomas, A. (2006).** Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, Rapport, INRA (Fr).

**Annou, G., Ould El-Hadj, K., (2012).** Mécanismes adaptatifs de l'halophyte spontanée *Suaeda mollis* sous deux régimes hydriques différents de la région de Ouargla – thèse de magister gestion des agro systèmes sahariens, Univ de kasdi merbah, OUARGLA. P14.

**Anonyme (2000).** Land resources: Potential and constraints at regional and country levels. World Soil Resources report n° 90. Rome: FAO.

**Anonyme (2008).** Annuaire statistique de la FAO.

**Antipolis S., 2003 :** Les menaces sur les sols dans les pays Méditerranéens. Les cahiers du plan bleu, Vol.2 :44-49.

**Araus, J. L., Slafer, G. A., Royo, C., & Serret, M. D. (2008).** Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. Critical Reviews in Plant Science, 27(6), 377-412.

**Ashraf, M., Foolad, M.R., (2007).** Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environ. Exp. Bot. 59, 206–216.

**Asloum H. (1990).** Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicume sculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux

saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia-Antipolis: 24- 32.

**Aubert G., (1982).** les sols sodiques en Afrique du nord .Cahier O.R.S.T.O.M .Service Pédologie : 194.

**Augé, R. M., Schekel, K. A., & Wample, R. L. (1986).** Osmotic adjustment in leaves of VA mycorrhizal and nonmycorrhizal rose plants in response to drought stress. *Plant Physiology*, 82(3), 765-770.

**Aussenac G. et Finkelsten D. (1983).** Influence de la sécheresse sur la croissance et la photosynthèse du cèdre. *Annales des Scientifiques Forestières*, 40 (1), 67-77.

**Ayadi.A et AL ; (1979).** échange ioniques cellulaire cas des plantes en milieu salé et rôle des parois cellulaire, physiologie Vgls Vol ED caulier paire90 pp.

**Bajji, M., Kinet, J.-M. et Lutts, S. (1998).** Salt stress effects on roots and leaves of *Atriplex halimus* L. and their corresponding callus cultures. *Plant Science*, 137(2):131 – 142.

**Bajji M., (1999).** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés in vitro. Thèse de doctorat, faculté des sciences, université catholique de louvain.

**Bajji M., Lutts S., et Kinet J.M., (2001).** Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sci.* V.160 Pp. 669 -681.

**Barrow J. R. et Osunda P. (2002).** Phosphorus solubilization and uptake by dark septate fungi in fourwing saltbush, *Atriplex canescens* (pursh) Nutt. *Journal of Arid Environments*.51:449-459.

**Barrow J. R., Osunda P. et Reyes-Vera I. (2004).** Fungal endophytes intrinsically associated with micropropagated plants regenerated from native *Bouteloua eriopoda* (Torr) and *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. *In vitro Cell. Dev. Biol-plant*.4:608-612.

**Batamony .K; (1993).** Adaptation of plants in to saline condition in arid region, Faculty of science Cairo. University, Egypt .acad publisher in Netherlands pp 13-20.

**Bayuelo J., Craig R. et Lynch J.P., (2002).**Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. Crop Sci., Pp.2184-2192.

**Belkhoudja, M. et Bidai, Y., (2004).** Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de germination. Laboratoire de physiologie végétale, Université Senia Oran Algérie Sécheresse 2004, Vol.15 (4) : 331-335.

**Bellakhdar J. (1997).** La pharmacopée marocaine traditionnelle: Médecine arabe ancienne et savoirs populaires. Ibis Press, 764 p. in [http://www.metafro.be/prelude/view\\_country?cc=MA&cat=V](http://www.metafro.be/prelude/view_country?cc=MA&cat=V).

**Belouazani.N, (1994).** Etude de comportement des tomates industrielles soumises à l'action de la salinité croissance et anatomie des tiges et racines, .thèse ING ITA ; Mostaganem.

**Ben Ahmed H., Zid E., El Gazzah M. et Grignon C., (1996).** Croissance et accumulation ionique chez *Atriplex halimus* L. Cahiers "Agricultures", Vol. 5 (5): Pp.365-372.

**Ben-haj-salah H. et Tardieu F., (1997).**Control of leaf expansion rate of droughted maize plants under fluctuating evaporative demand. A superposition of hydroulie and chemical messages Plant physiology 114, 893-900.

**Ben Hassine A. et Lutts S., (2010).** Differential responses of saltbush *Atriplex halimus* L. exposed to salinity and water stress in relation to senescing hormones abscisic acid and ethylene. J of Plant Physiology.vol. 167 : Pp.1448-1456.

**Ben Khaled L., Gómez A.M., Honrubia M., et Oihabi A., (2003).** Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium, AgronomieV. 23, pp553-560

**Benkhelif M., Arbaoui M., Belkhodja M., (1999)** Effets combinés de la salinité et de la bentonite sur la densité racinaire d'une culture de tomate cultivée sur un substrat sableux. Séminaire National sur la Salinisation des terres Agricoles en Algérie, Chlef: 101- 108.

**Benlaribi M., (1990).** Adaptation au deficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum Desf*). Thèse doctorat.Université de Constantine, Algérie, 190p.

**Ben Naceur M, Gharbi M.S., Paul R. (1999).** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en tunisien en matière de céréales. Sécheresse 1999 ;V. 10 Pp 27-33.

**Ben Naceur .M, Rahmoun.C, Hasna Sdiri, Medahi.M et Selmi.M, (2001).** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en graines de quelques variétés Maghrébines de blé. Science et changement planétaires. Sècheresse Vol 12 numéro 3.sep, pp 167-174.

**Ben Naceur, M., Rahmoune, C. et Dellaa, Y. (2004).** Les peroxydases sont des indicateurs de tolérance au stress salin chez l'Eucalyptus au stade de la germination. Séminaire International Ecologie Environnementale Urbaine : Etat actuel et Perspective. Constantine 15-17.

**Benrebiha F.Z., (1987).** Contribution de l'étude de la germination de quelques espèces d'*Atriplex* locales et introduites Mémoire de Magister en Science Agronomique L.I.N.A Alger. 5-119p.

**Benrebiha F. Z., (2003).** Etude de différents milieux de culture, de substance de croissance et de salinité sur la morphogénèse de l'*Atriplex halimus*, Thèse Doct, Univ, Algérie, 120 p.

**Ben Salem M., Boussen H. et Slama A., (1997).** Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF /U R E F). Orsay. Sécheresse.V. 2 Pp75- 83.

**Ben-salem, H., Nafzaoui, A. et Ben saleni, L., (2002).** Supplementing spineless cactas (*Opuntia ficus-indica f. inermis*) based diets with urea-treated straw or oldman salt bush (*Atriplex nummularia*). Effets on intake, digestion and sheep growth; Journal of Agricultural Science.Vol.138:85-92.

**Bensari,S. Beale C.V, Morison J.L, Long S.P, (1990).** "Water use efficiency of C4 perennial grasses in a temperate climate".Agriculture and forest Metereology.96: 103-115.

**Berka S. et Aïd F. (2009).** Réponses physiologiques des plants d'*Argania spinosa* (L.) *Skeels* soumis à un déficit hydrique édaphique. Sécheresse, 20 (3), 296-302.

**Berthomieu P., Conejero G., Nublat A., Brachenbury W.J., Lambert C., Savio C., Uozumi N., Oiki S., Yamada K., Cellier F.Gosti F., Simonneau T., Essah P.A. Tester M., Very A.A., Sentenac H., Casse F., (2003).** Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na<sup>+</sup> recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. EMBO Journal, Vol. 22: 2004- 2014.

**Bezzala. A, (2005).** Essai d'introduction de l'arganier (*Argania spinosa* (L) *Skeels*), dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse. Mémoire de magister. Université El Hadj Lakhdar..143p.

- Binzel, M.L., Hasegawa, P.M., Handa, A.K. and Bressan, R.A. (1985).** Adaptation of tobacco cells to NaCl. *Plant Physiology* 79: 118-125.
- Bliss, R.D. Platt-Allio, A. and Thomson, W.W. (1986).** The inhibitory effect of NaCl on barley germination. *Plant Cell. Environ.* 9: 727-733.
- Blum, A., Gozlan, G., et Mayer, J. (1981).** La manifestation de l'évitement de la déshydratation dans le matériel génétique de sélection du blé 1. *Crop Science*, 21 (4), 495-499.
- Blum A., (1996)** - Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. Edit. *Plant Growth Regul.* Vol. 20, pp 135 – 148.
- Bock, B., (2009).** *Atriplex halimus* L: épinards de mer: Tela Botanica, 3p.
- Bonnier, G. et DOUIN, R., (1996).** La grande flore en couleur. In : *Atriplex In Vivo* ; Bulletin de Liaison du Réseau de Coopération sur *l'Atriplex* , N°2, Octobre 1996.
- Bot A., Nachtergaele F.O., Young A., (2000).** Land resource potential and constraints at regional and country levels. *World Soil Resources Report N° 90.* Rome: FAO of UN.
- Bouabdellah E. (1992).** « La végétation steppique sur sols salés des hautes-plaines sud Algéroises. Composition, structure et production, » Thèse Doc., Univ. Paris sud. Centre d'Orsay, 206 p.
- Bouchnak F. (2014).** Stratégies adaptatives au stress hydrique et salin d'une halophyte spontanée *Atriplex halimus* L : approches physiologiques et biochimiques Thèse de doc. Améliorations des productions végétales, Univ. Saad Dahlab de Blida, Algérie.
- Bouda, S., Haddioui, A., (2011).** Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Sciences & Nature.* P : 72-79.
- Bouteyre, G., Loyer, J.-Y., (1992).** Sols salés, eaux saumâtres, des régions arides tropicales et méditerranéennes: principaux faciès, conséquences pour l'agriculture, in: Didactiques (Ed.), *L'aridité, Une Contrainte Au Développement.* pp. 69–80.
- Boyer J.S., (1970).** Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soy bean, and sunflower at various leaf water potentials. *Plant physiology* 46: p233-235.
- Boyer. J. S, (1985).** Water transport. *Annual Review of Plant Physiology*, Vol. 36. P: 473-516.

**Brady, N.C. and Weil, R.R. (2002).** The nature and properties of soils. 13th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.

**Brandle J. R., (1987).** Windbreaks and crop production. SAF National Convention, October 18-21, Minneapolis (USA).

**Brisson, N., Delecoller, R. (1992).** Développement et modèles de simulation des cultures. *Agronomie*, 12(3): 253-263.

**Brouquise Yeo, A.R., K.S. Lee, P. Izard, P.J. Boursier and T.J. Flowers, (1989).** “Short and Long Term Effects of Salinity on Leaf Growth in Rice (*Oryza sativa* L.”. *J. Exp. Bot.*, 42.Pp 881-889.

**Burn A. (1980).** Effets comparés de différence concentrations de NaCl sur la germination ; la croissance et la composition d quelques populations de luzernes annuelles d’Algérie Thèse.Doc Cycle .Montpellier

**Calvet R., (2003)** .Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole, 511 P.

**Castroviejo S., Lainz M., Lopez Gonzalez G., Montserrat P., Munoz Garmendia F., Paiva J., Villar L., (1990).** Flora Iberica Plantanaceae-Plumbaginaceae (partim), Real Jardín Botánico, Ed, CSIC, Madrid. Vol. 2, pp. 503-513.

**Chadefaud M. et Emberger L. (1960).** Traité de botanique :systématique,les végétaux vasculaires.Tome II.Ed.Masson &Cie. Paris.1540p.

**Chavez M.M., (1991).** Effets of water deficits on carbon assimilation.*J.Exp.Bot.*42:1-16.

**Chaves M.M., Maroco J.P., Pereira J.S., (2003).** understanding plant response to drought: from genes tothe whole plant. *Functional plant biology* V. 30: 239-264.

**Chaves M. M, Oliveira M.M, (2004).** Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture, *Journal of Experimental Botany*, Volume 55, Issue 407, November, Pages 2365–2384.

**Chedly Abdelly., Öztürk., Ashraf et Grignon, (2008).** “Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance,” Birkhäuser Verlag AG. Berlin. Germany.

**Cherbuy B., (1991).** Les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique. Cemagraf, école. Nat. Renne, 170p.

**Chernyad'ev I.I., (2005).** Effets of water stress on the photosynthetic Apparatus of plants and the Protective Role of Cytokininins: A Review. Bach Institute of Biochemistry, Russian Academy of Sciences ,Moscow, 119071 Russia E-mail:terekhora@inbi.ras.ru, Applied Biochemistry and Microbiology ,vol.41, No.2, 2005, pp.115-128. Translated from Prikladnaya Biokhimiya i Mikrobiologiya ,vol.41, No.2, 2005, pp.133-147. Original Russian Text Copyright©2005 by CHERNYAD'EV.

**Chesworth, W., (2008).** Encyclopedia of Soil Science, Ed. Springer Dordrecht, Berlin, 902 p.

**Chikhi, I., Allali, H., Dib, M.A., Medjdoub, H., Tabti, B., (2014).** Antidiabetic activity of aqueous leaf extract of *Atriplex halimus* L. (Chenopodiaceae) in streptozotocin-induced diabetic rats. Asian Pacific Journal of Tropical Disease, 4(3): 181-184.

**Chisci G., Stringi L., Martinez V., Amato G. et Gristina L., (1991).** Rúaala degli arbusto foraggeri nell' ambiente semi árido siciliano: 2-Funzione protectiva contero l'erosione idrometeorica. Riv. Di. Agron. Vol. 25: Pp.332-340.

**Chretien D, (1992).** La résistance au sel chez le joboba (*simmondsia chinensis* LS) : croissance et modification du contenu lipoprotéique de cals cultiv es en présence d' une teneur  lev e en NaCl. Thèse Doct. Univ. Paris VI, Pp.144.

**Chungyang. C et Kaiyun .W , (2001).** Differbces in drought responses of three contrasting Eucalyptus microtheca E muell population Uni of Helsinki Finland Forest Ecology and Management Vol 179, pp 377-385.

**Churchman, G.J. Skjemstad, J.O. et Oades, J.M. (1993).** Influence of clay minerals and organic matter on effects of sodicity on soils. Australian Journal of Soil Research ; 31:779-800.

**Claud G., Malher C., Claud Remy J., Berthelm J., Louis Morel j., (2005).** Sol et environnement. Dunod. Paris, pp: 609-625.

**Cordovilla MP, Ligerio F, Lluch C. (1995).** Influence of host genotypes on growth, symbiotic performance and nitrogen assimilation in Faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress. Plant Soil. 172: 289-297.

**Cornic G., Gouallec J.L., Briantais J.M., Hodges M., (1989).** Effect of dehydration and high light on photosynthesis of two c3 plants (phaseolus vulgaris l. And elatostema repens (lour.) Hall (f.). Planta 177Pp 84-90.

**Cramer, G.R. (2000).** Sodium-calcium interactions under salinity stress. In: Salinity: Environment - Plants - Molecules. A. Läuchli and U. Lüttge (eds.). In press.

**Dai, L., Senge, M., Ito, K., Onishi, T., Yoshiyama, K., (2015).** Experimental evaluation of irrigation methods for soil desalinization. *Paddy and Water Environment* 13, 159- 165.

**Danielle M-L, Paul M., (1995).** *Physiologie végétale Tome I, Nutrition et Métabolisme.* Ed Hermann. France, p540.

**Dajoz R., (1996).** *Précis d'écologie.* Edition Dunod, Paris, 551 p

**Daoud Y., Halitim A. (1994).** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Sécheresse*, 01/09/1994, vol. 5, n. 3, p. 151-160.

**Dehnoun. D, (1998).** Etude comparative de la dynamique des sels dans les régions sahariennes (régions d'Adrar) .Thèse d'ING .INA 68 p.

**Delgado M J, Ligerio F, Lluch C. (1994).** Effects of salt stress on growth and nitrogen fixation by pea, faba-bean, common bean and soybean plants. *Soil Biol. Biochem.*, 26, 371-376.

**Dey L., Attele A., Yuan C. (2002).** Alternative Therapies for Type 2 Diabetes. *Alternative Medicine Review*, 7 (1) 45–58.

**Diack, Mateugue, Diop, Tegaye et Ndiaye (2015).** *Ramatoulaye. Restauration des terres dégradées affectées par le processus de salinisation dans des conditions de changement climatique: impacts sur la sécurité alimentaire dans la vallée du fleuve Sénégal.* Dans: *intensification durable pour améliorer la sécurité alimentaire et renforcer la résilience climatique en Afrique.* Springer, Cham, p. 275-288.

**Douaoui A., Benbouali E., GAOUAR A., (2001).** Les facteurs intrinsèques de dégradation de la structure de surface des sols du Bas-Cheliff. *Annales de l'Institut National Agronomique - EI-Harrach*, vol. 22, pp 27-47.

**Duchaufour .P.h, (1995).** *Pédologie : sol, végétation, environnement.* Masson. Paris, Milan, Barcelone. Edit. De Boeck, p : 38-58; 451- 458.

**Dutuit P., Pourrat Y., Dodeman V. L. (1991).** Stratégie d'implantation d'un système d'espèces adaptées aux conditions d'aridité du pourtour méditerranéen. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELPUREF. John Libbey Eurotext. Paris, pp. 6.5-73.



**Dutuit P., (1999).** Etude de la diversité biologique de l'Atriplex halimus pour le repérage in vitro et in vivo d'individus résistants à des conditions extrêmes du milieu et constitution de clones. CTA. pp : 137-141.

**Edward P. Glenn and J. Jed Brown., (1999).** Salt Tolerance and Crop Potential of Halophytes," CRC Press LLC, Critical Reviews in Plant Sciences, vol. 18, no. 2, pp. 227–255.

**El Goumi Y., Fakiri M., Lamsaouri O., Benchekroun M., (2014).** Salt stress effect on seed germination and some physiological traits in three Moroccan barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. Journal of Materials and Environmental Science, vol. 5 (2), p. 625-632.

**Elmekaoui M, (1987).** Etude de la tolérance du NaCl chez le blé dur, tendre et l'orge ; Thèse ing ENSA MONTPELLIER ; France.

**El midaoui M., Benbella M., Aït Houssa A., Ibriz M., Talouizte A., (2007).** Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.). Revue HTE : 136, Pp.29-34.

**El Mzouri E., Chiriyaa A., El Mourid M., Laamari A. (2000).** Improving feed resource and quality in the dryland areas of Morocco by introducing the strip-alley cropping system. In: Gintzburger G., M. Bounejmate and A. Nefzaoui (eds.). Fodder Shrub Development in Arid and Semi-arid Zones. Proceedings of the Workshop on Native and Exotic Fodder Shrubs in Arid and Semi-arid Zones, 27 October-2 November 1996, Hammamet, Tunisia. ICARDA, Aleppo (Syria). Vol. II: 340-347.

**El Shatnawi M.J., et Mohawesh Y. M. (2000).** Seasonal chemical composition of saltbush in semiarid grasslands of Jordan. J. range Manag. Vol 53: 211-214.

**Elstner, E.F. (1982).** Oxygen activation and oxygen toxicity. Annu. Rev. Plant Physiol, (33) 73-96.

**Endris S. ET Mohammed M.J. (2007).** Nutrient acquisition and yield response of Barley exposed to salt stress under different levels of potassium nutrition. Int.J. Environ. Sci. Tech., 4 (3): 323-330.

**Enixon J.M., (2004).** Étude de l'impact de différents types d'entretien des sols sur l'alimentation hydrique de la vigne, effect sur son développement végétatif et la maturation des raisins. Mémoire d'Ingénieur, l'École supérieure d'agriculture, PURPAN, p 89.

**Essah, P. A. (2000).** Sodium Transport in Arabidopsis thaliana. Master of Philosophy. Department of Plant Sciences and Pembroke College, Cambridge. 80Pp

- Essington, M.E. (2004).** Soil and water chemistry, an integrative approach. Ed. CRC Press, USA.
- Faurie.C., Ferra.C., Medori.P., Deuaux.J. et Hemptinne.J.L., (2006).** Ecologie, Approche scientifique et pratique. Ed. Tec et Doc, Paris.
- Ferdose J., Kawasaki M., Taniguchi M., Miyake H., (2009).** Differential Sensitivity of Rice Cultivars to Salinity and Its Relation to Ion Accumulation and Root Tip Structure. *Plant Production Science*, vol. 12(4), p.453-461.
- Fernandes; F. M., Arrabaca; M.C., Carvalho, L.M.M. (2004).** "Sucrose metabolism in *lupinus albus* L. under salt stress ".*Biol.Plant.*48 (2), 317-319
- Flowers, T.J., Troke, P.F. and Yeo, A.R. (1977).** The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual Review of Plant Physiology* 28: 89-21.
- Flowers T J., Flowers S A., (2005).** Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? *Agricultural Water Management*. Vol.78, N°. 1-2: 15-24
- Francllet A., Le houerou HN., (1971).** Les Atriplex en Tunisie et en Afrique du Nord. Rome: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture: 249- 271.
- Garcia-Camarero, J., Ingelmo, F. et Sotomayor, M., (1996).** Implantation des Arbustos *Pasciolas* como integracion ganadera en los agrosistemas. *Agricultura ecologica y Desarrollo rural*.II congreso de la sociedade Espanola de agricultura ecologica. Pamplona-Iruna. Septiembre de.477-488.
- Gate P., (1995).** Ecophysiologie du blé, Edit. Lavoisier, Paris, Techniques et Documentations, 429p.
- Gaucher F, Burdin S, (1974).** Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Paris: PUF; 234 p.
- Genoux, C., Putzola, F. et Maurin, G. (2000).** La Lagune méditerranéenne : Les plantes halophiles. TPE. 1 ère S-2, 22p.
- Gobat. J.M, Aragno. M, Matthey. W, (2003).** Le sol vivant .bases de pédologie, biologie des sols. 568p.
- GorhamNS R., (1980).** Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*. Vol. 3, pp. 149-190.

**Gregory B., (2005).** Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique. Thèse Doctorat d'Etat, Université Laval., Québec. Pp.81.

**Grime J P., (1979).** Plant Strategies and Vegetation Processes. New York: John Wiley and Sons. 222 P.

**GU, M.F., Li, N., Shao, T.Y., Long, X.H., Brestic, M., Shao, H.B., Li, J.B., Mbarki, S., (2016).** Accumulation capacity of ions in cabbage (*Brassica oleracea* L.) supplied with sea water. *Plant Soil Environ.* 62, 314–320.

**Guettouche R., (1990).** Contribution à l'identification des caractères morpho physiologiques d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*triticum durum* desf). Thèse diplôme d'agronomie approfondie.

**Guignard J.L., (1979).** Abrégé de biochimie végétale à l'usage des étudiants en pharmacie. 2ème édition revue et corrigée. Ed MASSON. P.265:p.79-86.

**Guerrier, G., (1996).** Fluxes of Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup>, and osmotic adjustment in *Lycopersicon pimpinellifolium* and *L. esculentum* during short- and long-term exposures to NaCl. *Physiol. Plant arum* 97, 583–591.

**Haëfele, S., Wopereis, M.C.S., Boivin, P., N'Diaye, A.M., (1999).** Effect of puddling on soil desalinization and rice seedling survival in the Senegal River Delta. *Soil and Tillage Research* 51, 35-46.

**Hadjari S. S ; (1999).** Etudes du comportement de l'orge (*Hordeum Vulgare*) et du triticales au double stress hydrique et salin ; Thèse ING, ISA ,Tiaret.

**Hallaire M., (1999).** L'eau et le sol in Encyclopédie de production végétale .Département de Bioclimatologie,INRA,France,pp :12.

**Halliwell, B. and Gutteridge, J.M.C. (1984).** Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and diseases. *Biochem.J.* (219):114.

**Hamdy A. (1999).** saline irrigation and management for a sustainable use. Advanced Short Course on Saline Irrigation Proceedings, Agadir (Morocco). Pp 152-227.

**Hamza M., 1980:** Réponse des végétaux à la salinité. *Physio., Vég.* 18 (1): 69-81 répartition des cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{++}$ ) et du chlore ( $\text{Cl}^-$ ) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, Vol. 11, N° 3 : 235- 244.

**Hamza M., (1982).** Adaptation physiologique des plantes cultivées à la salinité, *Bulletin soc ; Ecophysiologie végétale* 169-184 pp.

**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(4), 938-945.

**Hanson, H.M., (1995).** "Variation in proteins synthesis in different regions of greening leaves of barley seedlings and effects of composed water stress". *J. Exp. Bot.* 35: 1450- 1459

**Hanson, F., Amzallag, G.N., Lemer, H.R., Poljakoff-Mayber, A., (1985).** "Induction of increased salt tolerance in Sorghum bicolor by NaCl treatment" .*J: Exp. Bot.* 41 : 29-34

**Haouala F., Ferjani H. et Ben EL hadj S., (2007).** Effet de la salinité sur la répartition des cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{++}$ ) et du chlore ( $\text{Cl}^-$ ) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 11 (3), Pp.235-244.

**Hare P.D, Cress W. A and Van Staden J, (1998).** Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress plant *Cell Environ* 21, 535 -553.

**Harrouni M.R., (1995).** Trasplantation des jeunes plantules d'arganier : effet combiné de techniques culturales et du stress hydrique. *Acte des colloques internationaux la forêt face à la désertification « cas des arganerais ».* Faculté de la science, Agadir, Pp. 115-33.

**Hartung, W., Radin, JW et Hendrix, DL (1988).** Déplacement de l'acide abscisique dans la solution apoplastique de feuilles de coton stressées par l'eau: rôle du pH apoplastique. *Physiologie végétale*, 86 (3), 908-913.

**Hassani A, Dellal A, Belkhodja, Kaid- Harche M, (2008).** 3n°.1. PP. 61-69.

**Heller R., Esnault R., Lance C., (1998).** Physiologie végétale. Tome I: Nutrition. 6ème Edition, DUNOD, Paris, 47p

**Heller R., Esnault R. et Lance C., (1998).** Physiologie végétale, Tome 1 Nutrition. Ed. DUNOD, France, p. 323.

**Heller. R, Esnault. R, Lance .C, (2004).** Physiologie végétale .Tome1. Nutrition. Paris: DUNOD, 323p.

**Higazy M, Shehata M, Allam A (1995).** Free proline relation to salinity of three sugar beet varieties. Egypt J Agric Res; 73: 175-89.

**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 rate. J. Exp. Bot. 57 : 291-302p.

**Hillel, D., (2000).** Salinity management for sustainable irrigation. Integrating Science, environment and economics. Environmentally and socially sustainable development. Rural Development. The World Bank, Washington DC 89 p.

**Hoffman, G.J., (1986).** Guidelines for reclamation of salt-affected soils. Applied Agricultural Research 1, 1-45.

**Hopkin W.G., (2003).** Physiologie végétale – traduction de la 2ed.américane par serge rambour révision scientifique de Charles-Marie Evradr Boeck univ. Bruxelles .p 445-476

**Hopkins W.G., (2003).** Physiologie Végétale, Traduction de la 2e édition par Serge RAMBOUR, révision scientifique de Charle-Marie EVRARD. Ed DEBOEK Université, Bruxelles. P. 514.

**Hsissou D., (1994).** Sélection in vitro et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat, faculté des sciences, université catholique de louvain, 1994.

**Hsiao, T.C., Acevedo, E., (1974).** Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. Agric. Meteorol. 14, 59–84. Doi: 10.1016/0002-1571(74)90011-9

**HU, Yuncai, Fricke, Wieland, et Schmidhalter, Urs, (2005).** Salinity and the growth of non-halophytic grass leaves: the role of mineral nutrient distribution. *Functional Plant Biology*, vol. 32, no 11, p. 973-985.

**Hubac .C, Gerrier .D and Ferran .J , (1969).** Résistance à la sècheresse du carex pachystylis (J gay) .Plante du désert du Neguev .OEcolog.Plant.Gautiers Vitters.IV ,18,325-345.

Hufty, A., 2001. Introduction à la climatologie: le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine. (Presses Université Laval).

**Ibrahim M.M.M, Dafalla M.S., Elhag A. M.H, Ibrahim I. S. ., (2013).** Monitoring, Predicting and Quantifying Soil Salinity,Sodicity and Alkalinity in Sudan, Using Soil Techniques, Remote Sensing and GIS Analysis, Case Study: International Journal of Scientific and Research Publications, 3(3), 1-7.

**Iptrid. (2006).** FAO: Electronic conference on salinization: extension of salinization and strategies of prevention and rehabilitation. Project CISEAU.

**Jabnoue M., (2008).** adaptation des plantes au stress salin. Cours. 48p.

**Jabnoue M., (2008).** Adaptation des plantes à l'environnement : Stress salin. Présentation Power Point.

**Jamil, M., et Rha, E. S. (2004).** The effect of salinity (NaCl) on the germination and seedling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* L.). Plant resources, 7(3), 226-232.

**Jeschke, W.D. (1983).** Cation fluxes in excised and intact roots in relation to specific and varietal differences. Plant and Soil 72: 197-212

**Jones H.G., Flowers T.J., Jones M.B., (1989).** Plants under stress, Cambridge University Press.

**Kafkai U., (1991).** Root growth under stress. Plant roots: the hidden half. New York, USA: Marcel Dekker, Pp.375-391.

**Kalaji, M.H. Pietkiewicz, S. (1993).** Salinity effects on plant growth and other physiological process. Acta Plant Physiol.; 15: 89-124.

**Karimi, A., (1997).** Desalinization of heavy textured soils in the Tabriz floodplain by ploughing at various depths. Iranian Journal of Agricultural Sciences 28, 37-48.

**Keren, R. (2000).** Salinity. In: Sumner M.E. (Ed). Handbook of Soil Science. CRC Press, NY, USA, pp G3-G25.

- Kessler J.J. (1990).** Atriplex forage as a dry season supplementation feed for sheep in the Montane Plains of the Yemen Arab Republic. *J. Arid Environments*, 19: 225-234.
- Khadre, F., (1994).** An ecological study on the tegulation of seed germination of *Atriplex halimus*. *Egyptian Journal of Botany*, Vol.34: 49-59.
- Khaldoun A., Chery J. & Monneveux P. (1990).** Etude de caractère d'enracinement et leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Agronomie*, 10, 369-379.
- Kiès N., (1977).** La plante et l'eau, cours polycopié, INRA El Harrach, 40 p.
- Kinet J.M., Benrebiha F.Z., Bouzid S., Lahacars S. et Dutuit P., (1998).** Le reseau Atriplex. Atelier biotechnologies et écologie et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en région arides et semi-arides. *Rev. Cahiers d'agricultures*. Vol.7 (6) pp: 505-509.
- Kiniry J.R., (1993).** Non structural carbohydrate utilisation by wheat shaded during grain growth. *Agron.J.*85:844-449
- Kirkham M.B., (2005).** Principles of soil and plant water realations. Ed Elsevier Academic Press.p 519.
- Kirsh, D., Sharma, N., Gupta, N.K...Gupta, S.Hasegawa, H. (2005).** "Effect of NaCl salinity on photosynthetic rate, transpiration rate, and oxidative stress tolerance in contrasting Wheat genotypes", *Photosynthetica*, 43, pp 609–613.
- Kotchi S.O., (2004).** Détection du stress hydrique par thermographie infrarouge .Application à la culture de la pomme de terre. Université Laval, Canada, Faculté de foresterie et géomantique ,Maîtrise en sciences géomantiques,p.130.
- Kramer P.J., (1980).** Drought, stress and origin of adaptations .In adaptation of plants to water (TURNER N.C. and KRAMER P.J.eds.) Wiley, New York pp.7-29
- Krömer S., (1995).** Respiration during photosynthesis. *Annu.Rev.Plant Physiol.Plant Mol.Biol.*46, 45-70.
- Kusaka M., Ohta M. and Fujimura T., (2005).** Contribution of organic components to osmotic adjustments and leaf foldings for drought tolerance in pearl millet. *Physiol.Planta.*125:p.474-489.
- Laberche J-C, (2004).** La nutrition de la plante In *Biologie Végétale*. Dunod. (Éd). Paris:154 -163
- Lachiheb, K. Neffati, M. et Zid, E. (2004).** Aptitudes germinatives de certaines graminées halophytes spontanées de la Tunisie méridionale. *Options Méditerranéennes*, 62 :89-93.

- Lamazé T., Tousch D., Sarda X., Grignon C., Depigny-This D., Monneveux P. et Belhassen E., (1994).** Résistance de plantes à la sécheresse mécanismes physiologiques. Le sélectionneur Français 45 : 75-85.
- Lambert, R., (1996).** Géographie du cycle de l'eau, 37-82.
- Lamzeri, H. (2007).** Réponses écophysiologicals de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. gomphocephala* et *S. mölle*) soumises à un stress salin. Thèse de magistère en Ecologie et Environnement .Option : Ecologie végétale. Université Mentouri Constantine. 141p.
- Lassana D., (1991).** Contribution à l'étude de la résistance de quelque espèce fourragère aux phénomènes de salinisation .Thèse ing, université de Bamako .63P.
- Lauer, M.J. and Boyer, J.S. (1992).** Internal CO<sub>2</sub> measured directly in leaves: abscisic acid and low leaf water potential cause opposing effects. *Plant Physiol.* 98:1310-1316.
- Lebon E., Pellegrino A. Tardieu F, et Lecœur J, (2004).** Shoot development in grapevine is affected by the modular branching pattern of the stem and intra and inter-shoot trophic competition. *Annals of Botany.* 93 : 263 -274 p.
- Leclerc J.C., (1999).** Ecophysiological végétale – publications univ. Saint Etienne p 188- 235
- Leclerc J.C, (1999).** écophysiological végétale Ed : publication de l'université de Saint-Etienne P283.
- Lefebvre V, (2005).** Caractérisation des gènes *At NCED* impliqués dans la biosynthèse de l'ABA dans la graine d'*Arabidopsis thaliana*. Docteur en Sciences de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon.
- Legros J.P., (2009).** Les grands sols du Monde. Presse Polytechniques et Universitaires Romandes, 574 P.
- Le Goupil J.C., (1974).** Agronomie Tropicale. Série 3 : Séminaire "développement rural .
- Le Houérou H. N. (1980).** Background and justification. In: H.N. Le Houérou (ed.). "Browse in Africa. The current state of knowledge". International Livestock Center for Africa, Addis Abeba (Ethiopia): 491.
- Le Houérou H.N. (1986).** Salt tolerant plants of economic value in Mediterranean basin. *Reclamation and Revegetation Research*; 319-341.



**Le Houérou H.N., (1992).** The role of salt bushes (*Atriplex* spp) in arid land rehabilitation in the Mediterranean basin: A review *Agroforestry Systems*, 18, p.107-148.

**Le Houérou, H.N., (2000).** Utilization of fodder trees and shrubs in the arid and semiarid zones of west Asia and North Africa. *Arid Soil Resear. Rehab.* 14, 101–135.

**Lepengue A.N., Mouaragadja I., M’batchi B., (2010).** Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la germination et la croissance du maïs (*Zea mays* L., Poaceae) au Gabon. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*.vol.4 (5), p.1602-1609.

**Levigneron, A. Lopez, F. Vansuyt, G. Berthomieu, P. Fourcroy, P. et Casse-Delbart, F. (1995).** Les plantes face au stress salin. *Cahier Agricultures*; 4(4): 263-273.

**Levit, (1972).** Reponses of plants to environmental stresses, Academic press New York.

**Levitt, J. (1980).** Response of plants to environmental stresses. Volume II. Water, radiation, salt and other stresses. 2nd Ed. Academic Press, London.

**Levy, G.J. (2000).** Sodcity. In: Sumner M.E. Ed. *Handbook of Soil Science*. CRC Press, NY, USA, pp G27-G62.

**Lieth H, Moshenko M, Menzel U, (1997).** Sustainable halophyte utilisation in the Mediterranean and Subtropical Dry Regions. *International Conferences on Water management Salinity and Pollution control towards Sustainable Irrigation in the Mediterranean Region*, Valenzano Bari, 23-26 septembre, 209 p.

**Longue, H.F., Chelma, A. et Ouled Belkhar, A., (1989).** Quelques aspects botaniques et nutritionnelles des pâturages des dromadaires en Algérie. *Option Méditerranéennes Série Séminaires*, Vol.2 : 47-53.

**Lorimer G.H., (1981).**The carboxylation and oxygenation of ribulose 1, 5.bisphosphate. The primary events in photosynthesis and photorespiration. *Annu.Rev.Plant Physiol.*32:349-383.

**Lowry OH. (1951).** Rosebrough, Farr, Randall; Protein measurement with the Folin- phenol reagent; *J. Biol. Chem.* Vol. 193, 265-275.

**Loyer, (1991).** Classification des sols salés : les sols Salic. Cahiers ORSTOM, sér. Pédol, vol, XXVI: 51-61.

**Maalem, S., (2002).** "Etude écophysiological de trois espèces halophytes du genre *Atriplex* (*A.canescens*, *A. halimus* et *A. nummularia*) soumises à l'enrichissement phosphaté". Thèse de magistère en physiologie végétale et applications biotechnologiques. Université Baji Mokhtar, Annaba, Algérie, 76p

**Mâalem, S. and Rahmoune, C (2009).** Toxicity of the Salt and Pericarp Inhibition on the Germination of Some *Atriplex* Species. American-Eurasian Journal of Toxicologic Sciences; 1 (2): 43-49.

**Maas .E V, (1990).** Crop salt tolerance. Engineering N°71, ASCE, NY, Pp262-304

**Madhava Rao, K.V., Raghavendra, A.S., Janardhan Reddy, K. (Eds.), (2006).** Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants. Springer, Dordrecht.

**Maggio, A. Miyazaki, S. Veronese, P. Fujita, T. Ibeas, J.I. Damsz, B. Narasimhan, M.L. Hasegawa, P. M. Joly, R. J. and Bressan, R. A. (2002).** Does proline accumulation play an active role in stress-induced growth reduction? The Plant Journal 31(6): 699-712.

**Martinez J.P., Ledent J.F., Badji M., Kinet J.M., Lutts S., (2003).** Effect of water stress on growth, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> accumulation and water use efficiency in relation to osmotic adjustment in two populations of *Atriplex halimus* L. Plant Growth Regulation. Vol. 41, Issue: 1, , pp. 63-73

**Martre P., (1999).** Architecture Hydraulique d'une Talle de Fétuque Élevée (*Festuca arundinacea Schreb.*). Implications pour les Relations entre la Transpiration et l'Expansion Foliaire. Thèse doctorat. UNIVERSITE DE POITIERS, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées, p. 131.

**Martre P., (1999).** Architecture Hydraulique d'une Talle de Fétuque Élevée (*Festuca arundinacea Schreb.*) Implications pour les Relations entre la Transpiration et l'Expansion Foliaire .Thèse doctorat.UNIVERSITÉ DE POITIERS, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées, p. 181

**Maruyama, S. and Boyer, J.S (1994).** Auxin action on growth in intact plants: threshold turgor is regulated. *Planta* 193:44-50

**Matthews M.A. and BOYER J.S., (1984).** Acclimatation of photosynthesis to Low water Potentials. *Plant Physiology* 74: 161-166.

**May L.H, et Milthrope F.L. (1962).** Drought resistance of crops plants. *Field Crop Abstracts*, 15, 171-179.

**Mazliak P., (1981).** *Physiologie végétale. Nutrition et métabolisme. Collection des Méthodes*, Herman, Paris. P530.

**Mazliak P., (1995).** *Physiologie végétale, nutrition et métabolisme. Ed. HERMAN, Paris, France, p. 539.*

**Mermoud A. (2001).** *Cours de physique du sol : Maitrise de la salinité du sol. Version provisoire : 14 p.* Ecole Fédérale de Lausanne.

**Mermoud A. et Musy, (2006).** *Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Pp.23.*

**Mezni, F., Maaroufi, A., Msallem, Met., (2012).** Fatty acid composition, antioxidant and antibacterial activities of *Pistacia lentiscus L.* fruit oils. *J Med Plants Res*, Vol. 6:5266– 71.

**Mc Michel, J.P., JAN K.P., (1977).** "Inhibition of amaranthus caudatus seed germination by polyethylene glycol-6000 and abscissa acid and its reversal by ethephon or laminocyclopropane1 carboxylic acid .*Physiol.Plant* .67(4) 588-597.

**Michel, B. E., et Kaufmann, M. R. (1973).** The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant physiology*, 51(5), 914-916.

**Millar Ah, Hoefnagel Mhn, Day Da, Wiskichi JT, (1996).** Specificity of the organic acid activation of alternative oxidase in plant mitochondria.*Plant .Physiol* 111:613-618.

**Maillard J., (2001).** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34 p

**Mokded, R., Talbi, O., Atia, A., Abdelly, C., et Smaoui, A., (2008).** "Selecti-on of a halophyte that could be used in the bioreclamation of saltaffected soils in arid and semiarid regions," Chapter in Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance. Birkhäuser Verlag AG. Berlin. Germany, pp 241-246.

**Monneveux P et This D., (1997).** La génétique face aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoir et difficulté. Cahier "Sécheresse", Vol 8, N°1, p 29-37

**Mozafar A. and Goodin, G.R. (1970).** Vesiculated hairs: a mechanism for salt tolerance in *Atriplex halimus* L. *Plant Physio.* 45: 62-65.

**Mulas M. et Mulas G., (2004).** Potentialités d'Utilisation Stratégique des Plantes des Genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la Lutte contre la Désertification. Short and Medium-Term Environmental Action Programme (SMAP) février 2004, Vol. 9 (23): Pp.8-54.

**Mulas M., et Mulas G., (2004).** Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Short And Medium - Term Priority Environmental Action Programme (SMAP). Université Des Etudes De Sassari Groupe De Recherche Sur La Désertification. 112P.

**Munns R., Greenway H., et Kirst G.O., (1983).** Halotolerant eukaryotes dans *Physiological plant ecology*. III. Responses to the chemical and biological environment *encyclopedia of plant physiology*. Vol. 12. Sous la direction de O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond et H.H. Zeigler. Springer-Verlag, Berlin. Pp.59–135.

**Munns R et Rawson H.M., (1999).** Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* Pp.459-464.

**Munns R., (2002).** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and environment*, Vol. 25: 239- 250.

**Munns R., (2008).** Sodium excluding genes from durum wheat and sea barleygrass improves sodium exclusion of bread wheat. 2nd International Salinity Forum Salinity, water and society-global issues, local action.

- Naidu, R. et Rengasamy, P. (1993).** Ion interactions and constraints to plant nutrition in Australian sodic soils. *Australian Journal of Soil Research* 31: 801- 819
- Nedjimi, B., Bekai, Z., Toumi, M., et Daoud Y., (2013).** GERMINATION ET CROISSANCE D'*Atriplex halimus* SUBSP. *Schweinfurthii* EN PRESENCE DE CaCl<sub>2</sub>. *Algerian Journal of Arid Environment "AJAE"*, 3(1).
- Négre R., (1961).** Petite flore des régions arides du Maroc occidental. Tome I. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris (France).
- Nouri L., Ykhlef N., et Djekoun A., (2002).** Ajustement osmotique et comportement hydrique chez certaines variétés de blé dur : relation avec la tolérance à la sécheresse. Actes de séminaire' IIIème journées Scientifiques sur le blé'. (Ed). Univ. Mentouri. Constantine.
- Oad, F.C., Samo, M.A., Soomro, A., Oad, D.L., Oad, N.L., Siyal, A.G., (2002).** Amelioration of salt affectd soils. *Pakistan Journal of Applied Sciences* 2, 1-9.
- Oertli, J.J. (1968).** Extracellular salt accumulation, a possible mechanism of salt injury in plants. *Agrochimica* 12: 461-469.
- Omani, L., Robock, A., Stenchikov, G., Thordarson, T., Koch, D., Shindell, D and Gao, C., (2006).** Modeling the distribution of the volcanic aerosol cloud from the 1783 Laki Eruption. *J. Geophys. Res.*, 111.
- Omrani A., (1993).** Evolution spatial de la salinité et du CaCO<sub>3</sub> total et actif de l'horizon de surface dans les sols salés de H'AMDNA (Relizane). Thèse ing ISA de Tiaret.
- Orcutt D.M. et Nilsene.T. , 2000:** *Physiology of plants under stress.* John Wiley & Sons Inc., New York, NY, USA
- Ortiz-Dorda, J., Martinez-Mova, C., Correl, E., Simon, B.et Cenis, J.L., 2(005).** Genetic structure of *Atriplex halimus* populations in the mediterranean basin.*Ann. Bot.*, Vol.95 (27):827-834
- Osman, A.E. et Ghassali, F., (1997).** Effect of storage conditions and presence of fruiting bracts on the germination of *Atriplex halimus* and *Salsola vermiculata*.*Expl.Agric.* Vol.33:149- 156
- Osmond, C .D., Bjorkmann, O. at Anderson, D.J., (1980).** *Physiological processus in plant ecology: Towards a synthesis with Atriplex .*Berlin, Heidelberg, New York: Springerlervlag. 463p.

**O'toole, J.C., Cruz, R.T. (1980).** Response of leaf water potential, stomatal resistance and leaf rolling to water stress. *Plant Physiol.* 51: 993-997.

**Oukara, F., Chaouia, C., et Benrebiha, F.,(2017).** Contribution a l'étude de l'effet du stress hydrique sur le comportement morphologique et physiologique des plantules du pistachier de l'atlas *pistacia atlantica desf.* *Revue Agrobiologia* 7(1): 225-232.

**Ownbey, R. S. and Mahall, B. E. (1983).** Salinity and root conductivity: differential responses of a coastal succulent halophyte, *Salicornia virginica*, and a weedy glycophyte, *Raphanus sativus*. - *Physiol Plant.* 57: 189-195.

**Ozenda P. (1954).** Observation sur la végétation d'une région semi aride : les hauts plateaux du Sud Algérois. *Bull Soc Hist Nat AFN* ; 45 : 189-224.

**Ozenda P., (1983).** Flore de Sahara. Ed. CNRS. Paris. 622 p. + 1 carte.

**Papanastasis, V.P., Tsiouvavas, C.N., Dinipapanastasi, O., Vaitsis, T., Stringi, L., Ceret, C.G.F., Dupraz, C., Armand, D., Meuret, M. et Olea, L., (2002).** Selection and Utilisation of Cultivated Fodder Trees and Shrubs in the Mediterranean Region. *CIHEAM-Options méditerranéennes*.

**Paquin R. (1986).** Effet de l'humidité du sol sur la teneur en proline libre et des sucres totaux de la luzerne endurcie au froid et à la sécheresse ; *Can. J. Plant Science*, 66, p.95. 101.

**Paridaa, A. K. and Dasa, A.B. (2005).** Salt tolerance and salinity effects in plants: a review *ecotoxicology and environment safety* 60: 324-349.

**Passioura J.B., (1996).** Drought and drought tolerance. *Edit. Plant growth regul.* Vol. 20, pp 79-83.

**Pedriza, T. (1974).** Effect of chlorophyll deficiency on proline metabolism in higher plants *Fiziologica rostantia* pp 21, 47-53.

**Picard, J.F., Timbals, J. et Becker, M., (1982).** Larousse des arbres et arbustes, ed. *Librarie Larousse, Paris*, 266p.

**Piotto, B., Bartoloni, G., Bussotti, F., Garcia, A.A.C., Chessa, I., Ciccacese, C., Cicaccarese, L., Crosti, R., Cullum, F.J., Noi, A.D., Garcia, F., Lambordi, M., Lisci, M., Lucci, S., Melini, M., Recinoso, J.C.M., Murrancia, S., Nieddu, G., Pacini, E., Pagni, G., Patumi, M., Garcia, F.P., Piccini, C., Rossettos, M., Tranne, G. et Tylkowski, T., (2003).** Fact sheets on the propagation of Mediterranean trees and shrubs from seed. Seed propagation of Mediterranean trees and shrubs. *APAT-Agency for the*

protection of the environment and for technical Service Via vitaliano Brancati, 48-00144 Roma-Italy. April 2003.

**Pit, J., (2004).** Current distribution and strategic management options for *Cenchrus ciliaris* L. (Buffet grass) in South Australia. *Plant Protection Quarterly*, Vol:19 (2) :415-421.

**Priault P. (2006).** Interactions mitochondries/chloroplastes au cours de la photosynthèse et de la réponse au stress chez *Nicotiana sylvestris*. Thèse de Doct.en Sci.,Univ.Paris.Sud,Orsay,174p.

**Priault P., Vidalb G., De Paepeb R, and Ribas-Carboc M, 2007-**Leaf age-related changes in respiratory pathways are dependent on complex I activity in *Nicotina sylvestris*.*Physiologia Plantarum* 129:152-162.

**Price A.H. et Hendry G.A.F., (1991).** Iron-catalysed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and three cereals. *Plant Cell Environ.*14:477-484.

**Pottier, A., (1981).** Flore de la Tunisie.Angiospermes dicotylédones gamétopétales.

**Qadir, M., Qureshi, R.H., Ahmad N., (1998).** Horizontal flushing: a promising ameliorative technology for hard sodic and saline-sodic soils. *Soil and Tillage Research* 45, 119- 131

**Qadir, M., Ghafoor, A., Murtaza, G., (2000).** Amelioration strategies for saline soils: a review. *Land Degradation & Development* 11, 501-521.

**Quarries SA. (1985).** Genetic differences in abscisic acid physiology and their potential uses in agriculture. In : Addicot FL'ed *Abscisic acid*. Praeger Pubblischer, NY.

**Quèzel P.et SANTA S., (1962).** Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales.Ed.Amatol.France.288p.

**Rahmoune, C., Ben Nacer M., Seridi, R., et Paul, R. (1997).** Les acides aminés comme indicateurs de stress cadmié chez le pois et le maïs. Second Colloque Maghrébin sur la Biologie Végétale et l'Environnement, 28- 29 Oct., 1997, Annaba.

**Rahmoune, C., Maâlem, S.andBennaceur, M., (2004).** .Etude comparative de rendement en matière sèche et en matière azotée totale de trois espèces de plantes steppiques du genre *Atriplex*. *Ciheam. P* : 219-221.

**Rahmoune, C., Zaimeche, S., Wathelet, B. et Ben Naceur, M. (2005).** Rôle des acides aminés comme bioindicateurs de stress métalliques chez les végétaux aquatiques. 1<sup>er</sup> Colloque Euroméditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 novembre 2005.

**Rahmoune, C., Maalem, S, Kadri, K. et Ben Naceur, M. (2008).** Etude de l'utilisation des eaux fortement salées pour l'irrigation des plantes du genre *Atriplex* en zones semi arides. Revue des régions arides. Vol. 2, no21, pp. 924-929.

**Rao. K.V.G.K, Kamra S.K et Kumhara P.S (1991).** Drainage for reclamation of waterlogged saline lands in irrigation commands. Better farming in salt affected soils ;( 13).Centra soil salinity Research Institute; India, 22P.

**Rhodes, J., (1993).** "Comparative physiology of salt and water stress plant. Cell and Environment". 25, 239-250.

**Richards, L.A., (1954).** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, Vol .60: p. 160.

**Richards, JH (1994).** Limites physiologiques des plantes dans les environnements Desert Playa. Département 1000, Land, Air and Water Resources Paper 100026. Université de Californie, Davis, CA.

**Richter G, (1993).** Métabolisme des végétaux. Physiologie et biochimie. Pressepolytechniques et universitaires romandes. 5<sup>ème</sup> éditions, 526p.

**Riou C, 1993 – L'eau et la production végétale .Sécheresse.2.75-83.**

**Robert M., (1996).** Le sol interface dans l'environnement ressource pour le développement Ed. Masson. Paris; 243 p.

**Robinson M.S., Jones, D, Adams P., Thomas J.C., Vernon D.M, Bonhert H.J., Jensen R.G, (1986).** "Distinct cellular and organismic responses to salt stress". Plant. Cell. Phys.33 : 1215-1223.

**Roger P. et Rubinstein J.P., (2004).** Adaptations des plantes aux climats secs.

**Rontain D., Basset G et Hanson A.D. (2002).** Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. Metab. Eng., 4, 49-56.

**Rosas M.R., (1989).** El genero *Atriplex* (*Chenopodiaceae*) en Chile. Gayana Bot., 46 (12): 3-82.



**Said. O, Fulder. S, Khalil. K, Azaizeh. H, Kassis. E et Bashar Saad. B. (2008).** Maintaining a physiological blood glucose level with „Glucoselevel“, a combination of four anti-diabetes plants used in the traditional arab herbal medicine. *Evid Based Complement Alternat Med.* 5(4): 421–428.

**Sala A et Tenhunen J.D., (1996).** Functional Plant Ecology (this leaf photosynthesis model can be next integrated in a canopy level carbon balance mode, 299 p.

**Seeman J.R., Sherkey T.D., Wang J. and Osmond C.B., (1987).** Environmental effects on photosynthesis, nitrogen use efficiency and metabolites pools in leaves of sun and shade plants. *Plant Physiol.* 84:796-802.

**Sentenac H et Berthomieu P., (2003).** Découverte d'un nouveau mécanisme de tolérance des plantes au sel. UMR Biochimie et physiologie moléculaire des plantes (Unité mixte Ecolonationale supérieure agronomique de Montpellier, Service Presse INRA, 34 p.

**SiSilva P.O., Medina E.F., Barros R.S.and Ribeiro D.M., (2014).** Germination of salt-stresses seeds as related to the ethylene biosynthesis ability in three *Stylosanthes* species. *Journal of Plant Physiology*, vol.171 (1), p.14-22.

**Slama, F. (2004).** La salinité et la production végétale. Ed. Centre de publication universitaire. Tunis, 163p.

**Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. et Zid E.D., (2005).** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (Inrat). Univ. Elmanar. Tunisie. 16 (3): 9-225.

**Slyater R. (1974).** The effect of internal water status on plant growth development and yield In: plant responses to climatic factors .Proc.of upsala symposium, Unesco.

**Snoussi S.A. et Halitim A., (1998).** Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. *Etude et gestion des sols*, Pp.289- 298.

**Sonon L. S., Saha U et Kissel D.E., (2012).** Soil salinity, testing, data interpretation and recommendations. The University of Georgia, cooperative extension, college of agricultural and environmental sciences, faculty of family and consumer sciences. Circular No., 1019.

**Souayah, N., Khouja, M.L., Rejeb, M.N. et Bouzid, S. (1998).** Micropropagation d'un arbuste sylvo-pastoral, *Atriplex halimus* L. (Chénopodiacées) pp. 131-135.

- Steudle E., (1995).** Trees under tension. *Nature* 378: p. 663-664.
- Subbarao G.V., Johansen C., Slinkard A.E., Nageswarao R.C., Saxena N.P., Chauhan Y.S., (1995).** Strategies for improving drought resistance in grain legume. *Crit rev plant sci*; V.14 Pp. 469- 523.
- Sumner, M.E. 1993.** Sodic soils: New perspectives. *Australian Journal of Soil Research*; 31:683-750.
- Sun, J., Kang, Y., Wan, S., Hu, W., Jiang, S., Zhang, T., (2012).** Soil salinity management with drip irrigation and its effects on soil hydraulic properties in north China coastal saline soils. *Agricultural Water Management* 115, 10-19.
- Tahri E., Belabed A. & Sadki k., (1997).** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des arnm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Bulletin de l'Institut Scientifique. Rebat.*V.21: Pp 81 – 89.
- Taiz L. and Zeiger E., (2002).** *Plant physiology.*3rd ed.Sinaner Associates Publishers, Sunderland, 427p.
- Talamali, A., Dutuit, P., Le Thomas, A. at Gorenflot, R., (2001).** Polygamie chez *Atriplex halimus* L. *Life sciences*, Vol .342:107-113.
- Tanton, T.W., Armstrong, A.S.B., Rycroft D.W., (1988a).** The leaching of salts from restructured saline clay soils. *Soil Use and Management* 4, 140-143.
- Tanton, T.W., Rycroft, D.W., Hashimi, M., (1995).** Leaching of salt from heavy clay subsoil under simulated rainfall conditions. *Agricultural Water Management* 27, 321-329.
- Tardieu F., (2000).** La modélisation de la tolérance à la sécheresse. *Biofutur* N°205, Edition Elsevier, p44-47.
- Tazi Reda M., Berrichi A., Haloui B. (2003).** Effet du polyéthylène glycol sur la germination et la croissance in vitro de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) des Beni- Snassen (Maroc oriental). Note de recherche, *Science et changements planétaires/Sécheresse*. 14: 23-7.
- Tester, M. and Davenport, R. (2003).** Na<sup>+</sup> Tolerance and Na<sup>+</sup> Transport in Higher Plants. *Annals of Botany* (91): 503-527.
- Thompson J.F., (1980).** Arginine synthetis, proline synthetis, and related processes.In the biochemistry of plants (MIFLIN B.J. Ed) academic press New York.5: pp 375-403.

- Turner N.C., (1979).** Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plant in stress physiology in crop plants”, (H.W.Mussel and R.C Staples, Ed.Wiley, (interscience) New York, p.343- 372.
- Turner N.C., (1986).** Adaptation to water deficit: a changing perspective. Aust j plant physiol; V. 13 Pp.90-175.
- Turner N.C., O’toole J.C., Cruz R.T., Yambo E.B.Ahmad S., Namuco O.S. and Dingkuhn M., (1986).** Responses of seven diverse rice cultivars to water deficits. II.Osmotic adjustment, leaf elasticity, leaf extension, leaf death, stomatal conductance and photosynthesis.Field Crops Res.14:256-273.
- TURNER N.C., WALTER R.S and EVANS P., (1987).** Water relations and osmotic adjustment of leaves and roots of Lupins in response to water deficits.Published in Crop Sci., 27:p.977-983.
- Turner N.C., (2001).** wright gc, siddique k.h.m. Adaptation of grain legume to water-limited environments. Advagron; V. 71Pp 193-231
- Ungar Irwin A et Ajmal Khan M., (2001).** Effect of Bracteoles on Seed Germination and Dispersal of two Species of *Atriplex*. Annals of Botany, Vol. 87: Pp.233-239.
- Upadhayaya M.K. and Furnes N.H., (1994).** Influence of lights intensity and water stress on surface characteristics of *Cynoglossum officinale*, *centourea* sp. And *Tragopogon* spp.Can.J.Bot.72:1379-1386.
- Vassey t.L., Quick W.P.,Sharkey T.D. and Stitt M., (1991).**Water stress,carbon dioxide and light effects on sucrose phosphate synthase activity in *phaseolus vulgaris*.Physiol Plant 81: p.37-44
- Venora G. and Calcagno F., (1991).** Study of Stomatal parameters for selection of drought resistance varieties in *Triticulum durum* Desf.Euphytica 57:p275-283.
- Vincent R. (2006).** Recherche e t étude de marqueurs moléculaires de la Réponse au stress chez l’algue brune *Laminaria digitata*. Thèse de doctorat. Biologie. Université de Rennes 1. 237pp.
- Walker, D. J., Lutts, S., Sánchez-García, M., & Correal, E., (2014).** L.: Its biology and uses. Journal of Arid Environments, 100-121.
- Wang Z. and Stuttle G.W., (1992).** The role of carbohydrates in active osmotic adjustment in apple under water stress.J.Am.Soc.Hort.Sci.117:816-823.

**Wang Tl, Domoney C, Hedley Cl, Casey R, Grusak Ma (2003).** Can we improve the nutritional quality of legume seeds? *Plant physiol* 131: 886–891

**Warrence, N., Bauder, J.W., Pearson.K.E., (2002).** Fondements de la salinité et des effets de la solidité sur les propriétés physiques du sol, Université Bozeman d'état de Montana, 13p.

**Wills B.J., Begg T.S.C et Brosnan M., (1990).** Forage shrubs for the south Island dry hill country: 1. *Atriplex halimus* L. (Mediterranean Saltbushes). Proceedings of the New Zealand grass land association. Eds. New Zealand, Vol. 52: Pp.161-165.

**Wyn Jones, R.G. and Gorham, J. (1983).** Aspects of salt and drought tolerance in higher plants. In: Genetic Engineering of Plants, An Agricultural Perspective. T. Kosuge, C.P. Meredith and A. Hollaender (eds.). Plenum Press, New York, pp 355-370.

**Xiong, L., Schumaker, K.S. and Zhu, J.K. (2002).** Cell signaling during cold, drought and salt stress. *Plant Cell*. 14 Suppl: S165-83.

**Xu Xing, (1994).** Comportement au stress salin de plusieurs génotypes de *triticum* et d'aegilops .Montpellier, Thèse doctorat d'état.

**Yeo A R, (1983).** Salinity resistance: physiologies and prices. *Physiologia Plantarum* 58: 214-222.

**Yonghao, Y.u., Sang-Oh, Y., George, P., Qian, Y., Xiaoju, M. M., .Judith, V., .Neil, K., Gregory, R., Hoffman., Lewis, C., Cantle., Steven, P., Gygi and John, B., (2011).** Quantitative Phosphoproteomic Analysis Identifies the Adaptor Protein Grb10 as an mTORC1 Substrate that Negatively Regulates Insulin Signaling, vol. 10: 1322–1326.

**Zhang X., Pei D. and Chen S., (2004).** Root growth and soil water utilization of winter wheat in the north china plain.*Hydrological processes* 18:2275-2287.

**Zhu, J-K. Liu, J. and Xiong, L. (1998).** Genetic Analysis of Salt Tolerance in Arabidopsis: Evidence for a Critical Role of Potassium Nutrition. *The Plant Cell* 10: 1181–1191.

**Zhu J.-K. (2001).** Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, 2001, n°2 vol. 6, p. 66-71

**Ziani, (2001).** Comportement de l'orge et du triticale en contraintes hydriques et salines .Thèse ING ; ISA ,11-22pp.

**Zid E., (1982).** Relations hydriques dans les feuilles de *citrus aurantium*: Effets de l'âge et de la salinité. Rev .FAC. Sc.Tunis, 2p 195-205.

**Zid E., Et Grignon C., (1991).** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. Aupelf-Uref . John Libbey. Eurotext, Paris, pp. 91-108.

# Annexe

**Annexe :**

**Tableau 1.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du NaCl sur la teneur en eau des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	22.19	11.094	0.3337	0.7189	
Population	1	2.81	2.809	0.0845	0.7733	

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif

**Tableau 2.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du PEG6000 sur la teneur en eau des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	808.96	404.48	7.0364	0.07	
Population	1	0.26	0.26	0.0045	0.947057	

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif

**Tableau 3.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du NaCl sur la surface foliaire des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	7.988	3.994	0.5947	0.5628	
Population	1	172.868	172.868	25.7420	9.395e-05	***

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif

**Tableau 4.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du PEG6000 sur la surface foliaire des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	476.24	238.121	50.4750	3.975e-07	***
Population	1	150.21	150.208	31.8399	6.070e-05	***

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif

**Tableau 5.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du NaCl sur la longueur de la partie aérienne des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	130.64	65.320	2.6582	0.08709	.
Population	1	3.48	3.478	0.1415	0.70951	

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif

**Tableau 6.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du PEG6000 sur la longueur de la partie aérienne des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	466.99	233.497	10.1246	0.0004913	***
Population	1	3.87	3.867	0.1677	0.6852843	

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif



**Tableau 7.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du NaCl sur la longueur de la partie racinaire des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	203.06	101.53	4.4837	0.0254074	*
Population	1	443.44	443.44	19.5829	0.0002905	***

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif

**Tableau 8.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du PEG6000 sur la longueur de la partie racinaire des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	532.81	266.407	10.7085	0.0005655	***
Population	1	228.40	228.405	9.1809	0.0061511	**

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif

**Tableau 9.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du NaCl sur la teneur en chlorophylles a des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	5.8845	2.94227	142.215	1.458e-09	***
Population	1	0.3904	0.39038	18.869	0.0007960	***

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif

**Tableau 10.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du PEG6000 sur la teneur en chlorophylles a des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	3.8813	1.94063	56.3809	7.918e-07	***
Population	1	0.0043	0.00431	0.1252	0.7295934	

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif

**Tableau 11.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du NaCl sur la teneur en chlorophylles b des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	0.068654	0.034327	44.286	1.572e-06	***
Population	1	0.094090	0.094090	121.390	5.780e-08	***

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif

**Tableau 12.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du PEG6000 sur la teneur en chlorophylles b des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	1.50415	0.75208	90.682	4.195e-09	***
Population	1	1.20146	1.20146	144.866	4.149e-09	***

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif

**Tableau 13.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du NaCl sur la teneur en chlorophylles a+b des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	9.6372	4.8186	57.4489	1.783e-07	***
Population	1	0.0864	0.0864	1.0301	0.3273	

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif

**Tableau 14.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du PEG6000 sur la teneur en chlorophylles a+b des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	3.2386	1.61930	13.3351	0.0004699	***
Population	1	1.7289	1.72895	14.2380	0.0018409	**

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif

**Tableau 15.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du NaCl sur la teneur en caroténoïdes des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	0.93534	0.46767	74.5473	7.536e-08	***
Population	1	0.01543	0.01543	2.4596	0.1408	

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.  
\*\*\*différence très hautement significatif

**Tableau 16.** Analyse de variance (ANOVA) de l'effet du PEG6000 sur la teneur en caroténoïdes des plantules d'*Atriplex halimus* L.

Source de l'effet	ddl	sommes des carrés	moyenne des carrés	F	Pr (>F)	Code de signification
Dose	2	1.61720	0.80860	177.9208	1.205e-09	***
Population	1	0.13994	0.13994	30.7927	0.000126	***

. : différence non significatif. \*différence significatif. \*\*différence hautement significatif.

\*\*\*différence très hautement significatif