

## Effet de la salinité sur quelques traits physiologiques et biochimiques chez *Atriplex halimus* L.

### Salinity effect on physiological and biochemical parameters of *Atriplex halimus* L.

Amir Brinis<sup>1</sup> & Moulay Belkhdja<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Amélioration Génétique des Plantes, Université Badji-Mokhtar, BP12, Annaba, 23000, Algérie.

<sup>2</sup>Laboratoire de Physiologie Végétale, Université d'Oran, BP 1524 El M'Naouer, 31000, Oran, Algérie.

Soumis le : 19.02.2015

Révisé le : 07.07.2015

Accepté le : 09.07.2015

يتناول هذا العمل مع تأثير الملوحة على بعض الاستجابات الفسيولوجية والبيو كيميائية لنوع، *Atriplex halimus* L. تعرضوا الشتلات لتحليلات الكتلة الحيوية، وحالة الطاقة (المحتوى الصباغ للكلوروفيل) وكذلك تحليلات البرولين والسكريات الذائبة والبروتين الكلي. تظهر النتائج ذات الصلة إلى تورط التركيز والمحتوى (NaCl+CaCl<sub>2</sub>, NaCl). تأثير الملوحة. على الكتلة الحيوية سواء بالنسبة لإنتاج المادة الحيوية أو المادة الجافة، تبقى رذود الجذر متشابهة في T<sub>1</sub> و T<sub>4</sub>. وبهذا تظهر مهارات التنمية والنمو في الأماكن المالحة. تستجيب الطاقة الخلوية الممتلئة بأصباغ الكلوروفيل بشكل مختلف اعتمادا على الإجهاد المطبق. يظهر الشاهد بكفاءة أفضل للطاقة. محتوى البرولين ينخفض بتركيز عال جدا من الملح. المعاملة حتى T<sub>3</sub> و لويستهان بها، تظهر تراكم قريب من الشاهد. تم الحصول على أعلى مستويات من مجموع البروتينات في T<sub>2</sub> و T<sub>4</sub> على التوالي. كان تراكم السكريات الذائبة أعلى في المعاملة T<sub>2</sub>. ويبين هذا العمل كم هو مهم للتحقق من أنماط أكبر قدر ممكن من هذه الأنواع التي هي مستخدمة في العلف الحيواني من جهة وتثبيت التربة من جهة أخرى.

**الكلمات المفتاحية:** NaCl – NaCl+CaCl<sub>2</sub> – سبيغات الخضراء – محميات الاسموزية. *Atriplex halimus* L.

#### Résumé

Le présent travail traite de l'effet de la salinité sur quelques réponses physiologiques et biochimiques d'une espèce, *Atriplex halimus* L. Des plantules sont soumises à des analyses de la biomasse, du statut énergétique (teneurs en pigments chlorophylliens), du dosage d'osmoprotecteurs tels la proline, les sucres solubles et les protéines totales. Les résultats montrent un effet salinité lié à la concentration et à la combinaison mise en jeu (NaCl, NaCl+CaCl<sub>2</sub>). Au niveau de la phytomasse, aussi bien pour la production de matière fraîche que pour celle de la matière sèche, les réponses racinaires sont similaires, notamment en T<sub>1</sub> et T<sub>4</sub>. Les aptitudes de développement et de croissance en milieu salin semblent en être les initiateurs. L'énergie cellulaire traduite par les pigments chlorophylliens répond différemment selon le stress appliqué. Le témoin affiche un meilleur rendement énergétique. Les teneurs en proline diminuent sous les fortes concentrations salines. Le traitement T<sub>3</sub>, même non significatif, montre une accumulation de l'acide aminé voisine du témoin. Par ailleurs, les teneurs les plus élevées en protéines totales sont obtenues en T<sub>2</sub> et T<sub>4</sub> respectivement. L'accumulation des sucres solubles a été supérieure en T<sub>2</sub>.

**Mots clés :** NaCl – NaCl+CaCl<sub>2</sub> -pigments chlorophylliens – osmoprotecteurs -*Atriplex halimus* L.

#### Abstract

The present topic deals with the effect of salinity on some physiological and biochemical responses of a species, *Atriplex halimus*. Seedlings are submitted in order to analyze biomass, energetic status (chlorophyll pigments), and osmoprotectors contents, such as free proline, soluble sugars and total proteins. The results show that there is an effect of salinity, associated to the concentration and the combination used (NaCl, NaCl+CaCl<sub>2</sub>). As far as plant biomass was concerned, roots fresh and dry matter production are somehow similar, in T<sub>1</sub> and T<sub>4</sub> in particular. The development and growth ability in salt medium seemed to be the main initiators. Cell energy, as translated by chlorophyll pigments responded differently according to the stress. Control indicates the high energetic yield. T<sub>3</sub> treatment, even though not significant, shows an accumulation not that far from the control. The highest proteins levels are registered in T<sub>2</sub> and T<sub>4</sub> respectively. Soluble sugars content are superior in T<sub>2</sub>.

**Keywords:** NaCl – NaCl+CaCl<sub>2</sub> -chlorophyllians pigments – osmoprotecteurs - *Atriplex halimus* L.

\*Auteur correspondant : brinis\_amir@yahoo.fr

## 1. INTRODUCTION

Nombreux sont les facteurs qui concourent au processus de la salinisation des sols. L'insuffisance des précipitations conjuguées aux fortes pertes en eau par évaporation à partir du sol [1] en sont quelques-uns. Ce déséquilibre hydrique provoque dans le profil du sol une accumulation des sels au cours du temps sans pouvoir être lessivé par les rares eaux de pluies, ce qui conduit ces sols à devenir incultes [2]. Les sols chargés de concentrations anormalement élevées de sels solubles, exposent les plantes à un stress permanent. [3-4].

L'Algérie est l'un des pays le plus marqué par la sécheresse due à de faibles et irrégulières précipitations et par une pédogénèse halomorphe. Cette halomorphie est toute indicatrice des sols des zones arides et semi-arides [5-6]. Des surfaces cultivables très importantes dans ces zones sont exposées à une désertification continue [7], d'où une menace pour l'équilibre alimentaire de ces régions [8].

La réhabilitation des sols exige la mise en œuvre de stratégies d'étude pluridisciplinaires pour réunir de nouvelles données [9] afin de mieux comprendre les réponses des plantes sous cette contrainte. D'un point de vue éco physiologique, la mise en place d'espèces végétales résistantes à la salinité s'impose pour réhabiliter les zones affectées par ce facteur. C'est pourquoi la préservation et la valorisation des halophytes comme l'*Atriplex*, ouvre une voie intéressante en raison des multiples avantages que présentent celles-ci, d'un point de vue écologique [10] et pastoral [11].

Ces espèces sont aussi caractérisées par leur propriété d'exclusion des sels par leur système foliaire, ce qui peut créer l'équilibre hydrique dans la plante [12] et une réduction de leur concentration dans le sol [13]. Les changements cellulaires qui peuvent survenir au cours du développement de la tolérance au froid incluent les altérations au niveau des activités enzymatique et métabolique [14] par des augmentations au niveau des concentrations de sucres [15].

Selon Belkhdja [16], l'*Atriplex halimus* exprime des capacités de croître en présence de 300 mM de NaCl et poursuit sa croissance jusqu'à 600 mM, concentration voisine à celle de l'eau de mer. Cependant il existe une grande variabilité au niveau du comportement physiologique des individus ainsi que dans la production de biomasse [17-18]. Les teneurs en

chlorophylles varient en fonction des concentrations appliquées entre 6 à 24 g.l<sup>-1</sup>. De même, concernant l'accumulation des osmolytes protecteurs (sucres solubles notamment), il existe une différence significative pour le facteur espèce. Il en est de même pour l'accumulation de la proline qui selon le même auteur, augmente avec la concentration de NaCl.

Les sels solubles ont un effet sur la résistance de l'*Atriplex*, notamment sur la germination, la croissance, la nutrition minérale et l'accumulation de certains osmoprotecteurs [19]. L'auteur confirme l'adaptation de l'*Atriplex halimus* à la salinité et sa tendance à l'halophilie.

De même, l'adaptation d'*Atriplex halimus* et *Atriplex canescens* aux conditions édaphiques et climatiques des périmètres steppiques dégradés de l'Algérie occidentale est obtenue avec un taux de réussite supérieur à 80% [20].

L'*Atriplex* est par ailleurs proposé soit comme une alternative biologique pour réduire la salinité des sols [21], soit en tant que matériel biologique de métaux lourds tel le plomb [22]. L'*Atriplex*, outre ses qualités nutritionnelles, affiche la présence d'acides phénoliques simples et des esters [23].

Des auteurs expérimentent si la croissance et la physiologie de l'*Atriplex* sont sous l'effet de la concentration saline de la région inférieure, supérieure ou de la salinité moyenne de la rhizosphère. Leurs travaux aboutissent à la conclusion que c'est beaucoup plus la moyenne générale de la salinité qui est déterminante et non les concentrations salines aux extrémités de la racine [24].

L'adaptation des plantes ou tolérance au stress salin implique selon ces auteurs des traits physiologiques complexes, des voies métaboliques et des réseaux de gènes. Leurs travaux mettent l'accent sur l'approche intégrative en combinant les niveaux des outils moléculaires, cellulaires, métaboliques et physiologiques, bien que les mécanismes soulignant la tolérance à la salinité soient encore loin d'être entièrement compris [25].

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1 Matériel végétal

L'espèce *Atriplex* a été utilisée en tant que matériel biologique expérimental. Des plantules ont été ramenées de la pépinière du Haut-commissariat du Développement de la Steppe (HCDS), Tébessa, Sud Est Algérien.

Elles ont été mises en pots de 20 cm de diamètre et 30 cm de profondeur sous des conditions contrôlées au laboratoire d'amélioration génétique des plantes de l'Université Badji Mokhtar, Annaba.

## 2.2 Dispositif expérimental

Cinq traitements ont été déterminés pour la présente expérimentation.

- Témoin 1 : absence d'apport de sel
- Traitement 2 : salinité à base de NaCl à raison de 50 meq ( $3\text{g.l}^{-1}$ )
- Traitement 3 : salinité à base de NaCl à raison de 200 meq ( $6\text{g.l}^{-1}$ )
- Traitement 4 : salinité à base de NaCl+ CaCl<sub>2</sub> ( $12\text{g.l}^{-1}$ )
- Traitement 5 : salinité à base de NaCl+ CaCl<sub>2</sub> ( $22\text{g.l}^{-1}$ )

Le substrat se compose de 2/3 terreau et de 1/3 sable. Les plantules transférées en pots ont subi les premières irrigations à concurrence de 300 ml/ pot ce qui correspond à la capacité au champ. Les irrigations sont espacées à raison de deux par semaine pendant 21 jours. Le stress salin a été appliqué au 22<sup>ème</sup> jour du semis pendant 10 jours, au terme desquels les premières notations et analyses sont exécutées.

## 2.3 Analyses effectuées Biomasse

La phytomasse est quantifiée en poids de matière fraîche (MF) et matière sèche (MS). De la plante entière, la partie aérienne et la partie racinaire.

Les poids frais sont effectués à l'aide d'une balance de précision juste après que le végétal ait atteint un équilibre isothermique. Les poids secs sont obtenus après un passage des échantillons à l'étuve pendant une durée de 24 heures à 85° C.

## Dosage des pigments chlorophylliens

Les chlorophylles a et b ont fait l'objet de cette analyse à l'aide de la méthode de Hicox & Israelsiam [26].

## Dosage des osmoprotecteurs

### Dosage de la proline

La technique utilisée pour le dosage de la proline est celle de Troll & Dreier, améliorée par Monneveux & Nemmar [27].

## Dosage des sucres solubles

Les sucres solubles sont dosés par la méthode de Shields & Burnett [28] en utilisant l'antrone en milieu sulfurique, après macération du végétal dans de l'éthanol.

## Dosage des protéines totales

La technique utilisée pour le dosage des protéines totales est celle de Bradford [29] qui utilise le BSA (Sérum d'albumine de bovin)

## 2.4 Analyse des données

L'analyse statistique a été réalisée pour chaque variable et pour chacun des cinq traitements, à l'aide d'un microordinateur DELL et à l'aide du logiciel d'analyse et de traitement des données MINITAB version 15.1.

## 3. RESULTATS

### 3.1 La Phytomasse

Le potentiel de la phytomasse, tel qu'il est exprimé par les poids de la matière fraîche (Fig. 1) semble répondre positivement à la salinité. Les traitements T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub> de la partie aérienne favorisent une augmentation sensible. La partie racinaire répond de manière similaire pour les traitements imposés (Fig. 1).

De même, les réponses sont hautement significatives à très hautement significatives pour la matière sèche totale. Les traitements T<sub>2</sub> et T<sub>3</sub> ont été les plus déterminants dans la production de matière sèche par rapport au témoin (Fig. 2).

Les résultats montrent qu'il y a une différence très hautement significative par rapport au témoin pour la matière fraîche (Tab.1). Le traitement T<sub>4</sub> s'est avéré être le plus favorable pour l'obtention d'une bonne production de matière fraîche. Ceci est confirmé dans la production de la matière fraîche aérienne (Tab. 1).

La production de matière fraîche racinaire (Tab. 1) est hautement significative pour le traitement T<sub>2</sub> et significative pour le traitement T<sub>3</sub>. Les traitements T<sub>1</sub> et T<sub>4</sub> affichent des valeurs non significatives par rapport au témoin.

Le rendement en matière sèche a été le plus élevé en T<sub>2</sub> (4.2 g) et en T<sub>3</sub> (3.9 g) respectivement. Il y aurait comme un pic en T<sub>2</sub> puis une régression en T<sub>3</sub> et T<sub>4</sub>. Le témoin T<sub>0</sub> affiche les valeurs les plus faibles aussi bien pour les biomasses racinaires qu'aériennes. La biomasse devient pour ainsi une fonction positive de la sévérité du stress NaCl exercé (Tab. 1).

D'une manière générale, aussi bien pour la production de matière fraîche que pour la matière sèche, les réponses racinaires sont similaires, notamment en T<sub>1</sub> et T<sub>4</sub>. L'explication plausible est à rechercher au niveau des mécanismes physiologiques de développement et de croissance dans un biotope où un stress salin est imposé. Les résultats au niveau des

parties aériennes (tiges – feuilles) peuvent ainsi traduire une accommodation transitoire, voire une adaptation pour permettre à l'*Atriplex* d'ajuster ses fonctions à la fois assimilatrices des solutions salines mais aussi ses capacités à évacuer celles-ci par des mécanismes d'inclusion et d'exclusion du sel.

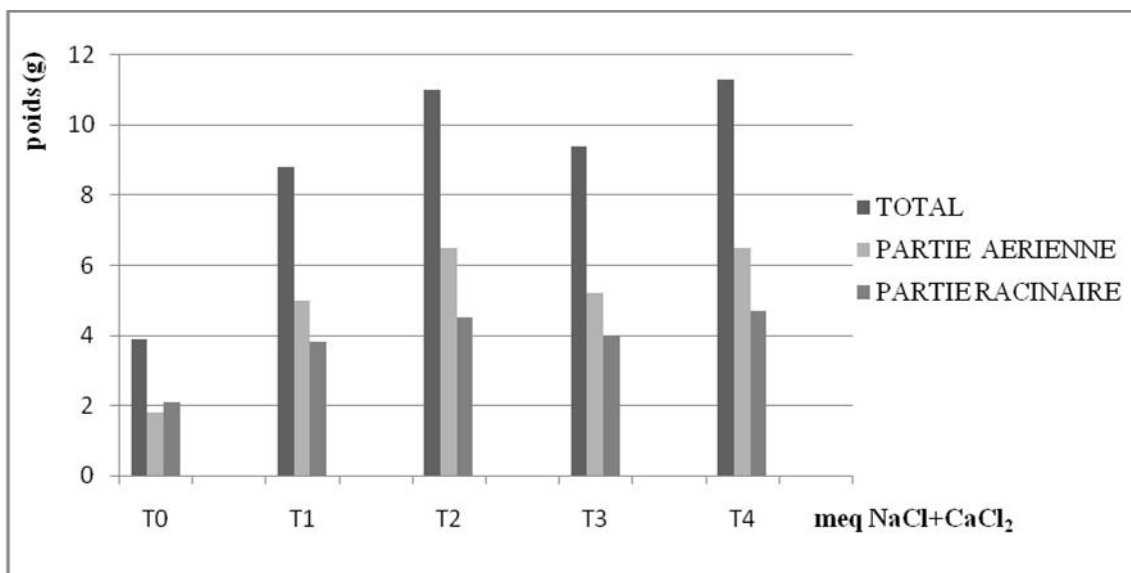


Figure 1. Poids de la matière fraîche chez *Atriplex halimus* selon le gradient de salinité

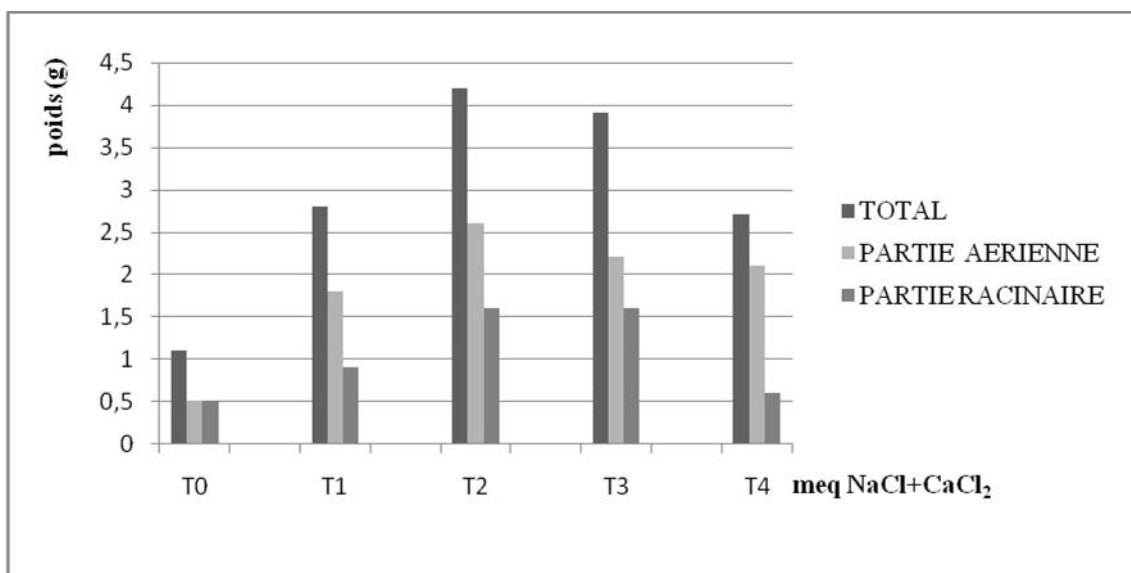


Figure 2. Poids de la matière sèche chez *Atriplex halimus* selon le gradient de salinité

Tableau 1. Test statistique de DUNNETT de la comparaison du traitement témoin avec les autres traitements pour la phytomasse

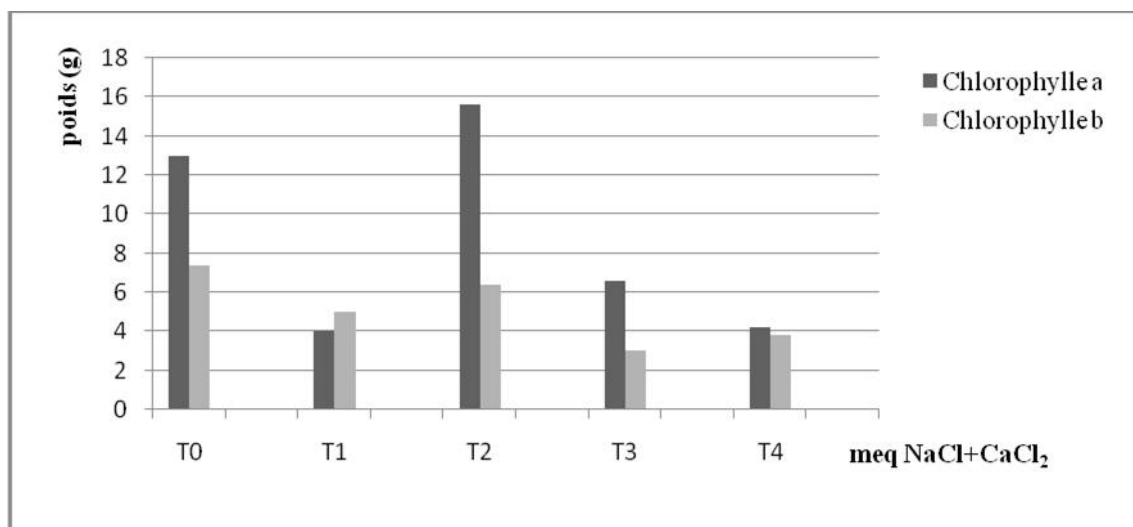
Traitements	P					
	MFT	MFA	MFR	MST	MSA	MSR
T <sub>0</sub>	-	-	-	-	-	-
T <sub>1</sub>	0.000 ***	0.000 ***	0.058 N.S	0.001 **	0.024 *	0.202 N.S
T <sub>2</sub>	0.000 ***	0.000 ***	0.009 **	0.000 ***	0.001 **	0.001 **
T <sub>3</sub>	0.000 ***	0.000 ***	0.031 *	0.000 ***	0.004 **	0.001 **
T <sub>4</sub>	0.000 ***	0.000 ***	0.118 N.S	0.002 **	0.008 **	0.960 N.S

### 3.2 Pigments chlorophylliens

Le traitement T<sub>2</sub> s'avère être favorable à l'élaboration de pigments. Au-delà de ce seuil de salinité, c'est-à-dire avec une combinaison NaCl+CaCl<sub>2</sub>, les teneurs diminuent avec l'intensité du stress salin (Fig. 3).

Pour la chlorophylle a, les traitements T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub> et T<sub>4</sub> affichent des valeurs inférieures à celles obtenues chez le témoin. Les traitements T<sub>1</sub> et T<sub>4</sub> avec des moyennes de 4.04  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  MF et 4.22  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  MF sont statistiquement et de manière hautement significative, inférieures au témoin (13.04  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  MF).

Les traitements T<sub>2</sub> (NaCl à 6g/l), bien que non significatif, montre une légère augmentation numérique (15.66  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  MF) contre 13.04  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  MF pour le témoin. Une tendance similaire est observée pour la chlorophylle b (Tab. 2) où le traitement T<sub>2</sub> n'est pas très différent du témoin. Ceci permettrait d'en déduire quelques une des hypothèses selon lesquelles les pigments chlorophylliens sont à la base non seulement de la photoconversion de l'énergie lumineuse mais aussi des futurs photoassimilats à un stade phénologique plus avancé, la salinité constituant ainsi un stimulant pour la machinerie cellulaire.

Figure 3. Teneurs en pigments chlorophyllien a et b chez *Atriplex halimus* selon le gradient de salinité

### 3.3 Les osmoprotecteurs Proline

L'accumulation de la proline est plus élevée en T<sub>3</sub> (49.01 μg.g<sup>-1</sup>MF) et en T<sub>2</sub> (35.8 μg.g<sup>-1</sup>MF) lorsque le témoin n'est pas pris en considération (Fig. 4). Les résultats appuyés par le test de DUNETT montrent une réponse non significative entre les différents traitements. D'où l'hypothèse que l'*Atriplex*, espèce

halophile n'a pas eu recours à cette voie particulière d'accommodation ou que, le stress ne semble pas avoir déclenché la protéolyse nécessaire pour l'obtention de quantité importante de proline. Il n'y a pas de réponse au point d'envisager un blocage possible de l'activité métabolique en cours.

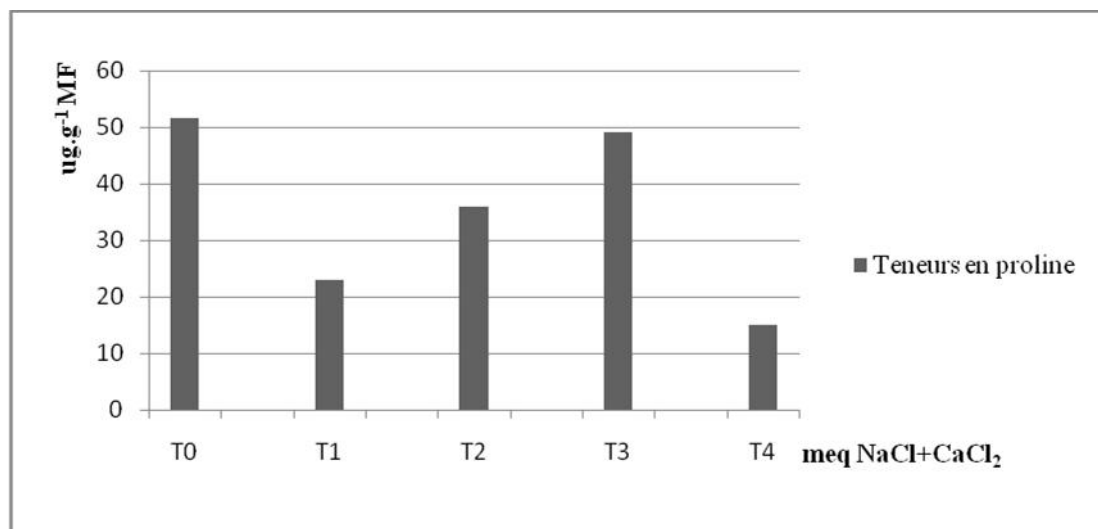


Figure 4. Teneur en proline (μg.g<sup>-1</sup> MF) chez *Atriplex halimus* selon le gradient de salinité

### Protéines totales

Les valeurs les plus élevées sont obtenues en T<sub>2</sub> (62 μg.g<sup>-1</sup>) et T<sub>4</sub> (37.9 μg.g<sup>-1</sup>) respectivement par rapport au témoin (Fig. 5). Ainsi, les doses modérées de NaCl (T<sub>2</sub>) et une combinaison de NaCl et CaCl<sub>2</sub> semblent provoquer une action stimulante pour l'élaboration de protéines même si les résultats ne montrent pas une différence significative (Tab. 2). Nous

relèverons que la technique utilisée, en l'occurrence le BBC, donne des résultats intéressants, différents en tous cas, lorsqu'il s'agit de prendre 2ml de BBC ou 0.2 ml. A 2ml de BBC nous obtenons un pic maximum pour les traitements T<sub>2</sub> et à un degré moindre pour le traitement T<sub>4</sub>. Les valeurs obtenues avec 0.2ml de BBC sont moindres pour tous les traitements hormis pour T<sub>0</sub> (témoin).

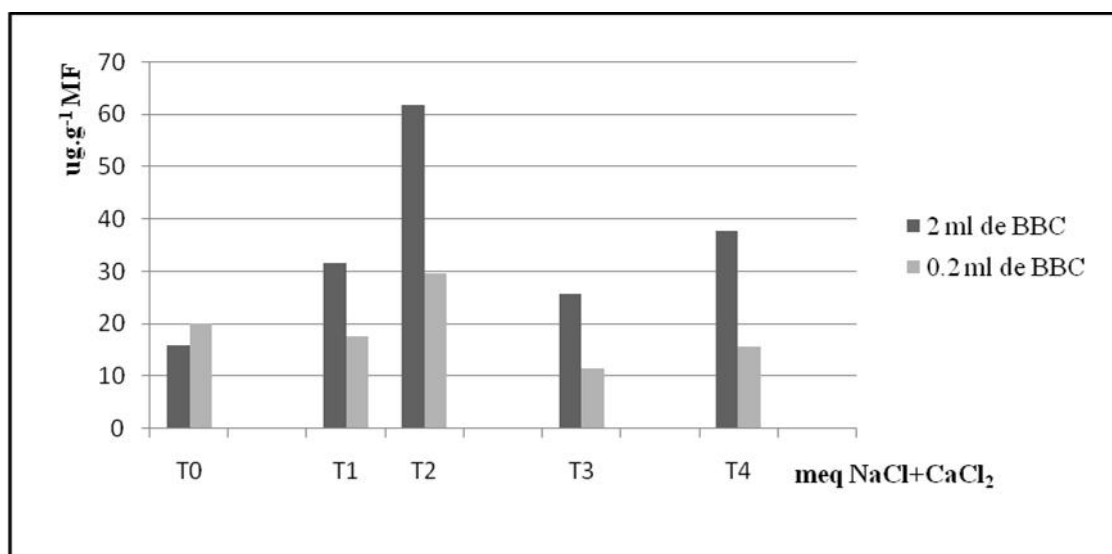


Figure 5. Teneur en protéines (μg.g<sup>-1</sup> MF) à 2 et 0.2 ml de BBC chez *Atriplex halimus* L. selon le gradient de salinité

## Sucres solubles

La figure 6 montre que l'accumulation des sucres solubles reste quelque peu irrégulière dans le sens où la sévérité du stress salin ne se traduit pas forcément en teneurs plus élevées de sucres solubles. Le traitement T<sub>2</sub> (Tab. 2)

montre une supériorité numérique en tous cas par rapport au témoin. Les écarts-types relativement élevés ne révèlent pas de discrimination statistique significative.

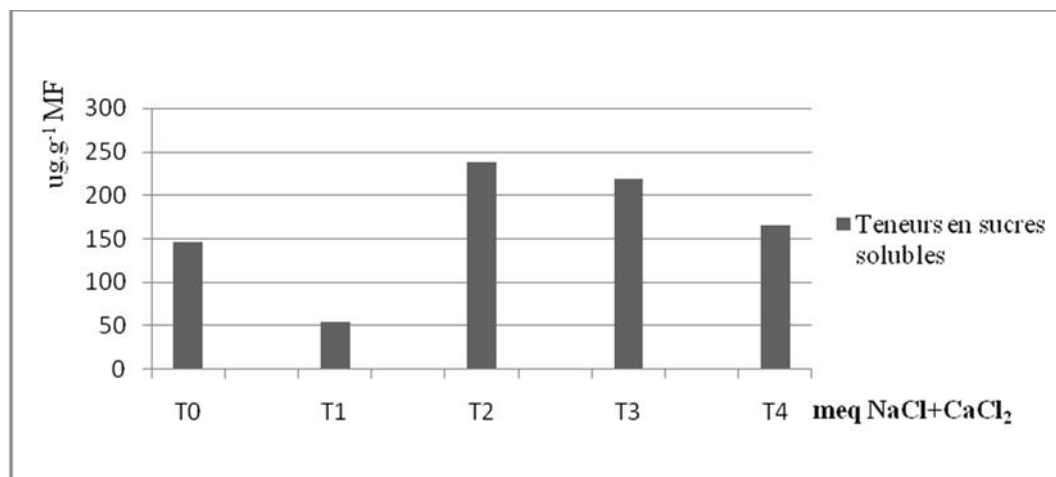


Figure 6. Teneur en sucres solubles (µg.g<sup>-1</sup> MF) chez *Atriplex halimus* L. selon le gradient de salinité

Tableau 2. Test statistique de DUNNETT de la comparaison du traitement témoin avec les autres traitements pour les pigments chlorophylliens et les osmoprotecteurs.

Traitements	P					
	Chlorophylle a	Chlorophylle b	Proline	Protéines totales 2ml	Protéines totales 0.2ml	Sucres solubles
T <sub>0</sub>	-	-	-	-	-	-
T <sub>1</sub>	0.003 **	0.001 **	0.066 N.S	0.549 N.S	0.965 N.S	0.419 N.S
T <sub>2</sub>	0.511 N.S	0.136 N.S	0.413 N.S	0.013 *	0.246 N.S	0.420 N.S
T <sub>3</sub>	0.029 *	0.000 ***	0.996 N.S	0.853 N.S	0.317 N.S	0.606 N.S
T <sub>4</sub>	0.0041 **	0.000 ***	0.019 N.S	0.295 N.S	0.795 N.S	0.993 N.S

A la lumière des résultats obtenus synthétisés dans le tableau 1 et appuyés par l'analyse statistique, le rendement en phytomasse s'avère être dépendant de la nature et de la sévérité du stress salin. Ainsi, nombreuses sont les différences significatives, hautement et très hautement significatives. La matière fraîche du coléoptile (partie aérienne de la plantule) a été très hautement significative alors que la partie racinaire fraîche affiche des différences hautement significatives et significatives respectivement en T<sub>2</sub> et T<sub>3</sub> et non significatives en T<sub>1</sub> et T<sub>4</sub>.

Des résultats similaires sont observables pour la production de matière sèche. Alors qu'il y a une différence hautement significative pour la partie aérienne, elle est non significative pour T<sub>1</sub> et T<sub>4</sub> pour les racines.

Les réponses physiologique et biochimiques exprimées par la production d'énergie (pigments chlorophylliens), les osmolytes régulateurs (proline, sucres solubles, protéines totales) sont à l'inverse de la production en phytomasse, non significative dans leur ensemble, exception faite pour les chlorophylles a, chlorophylles b en T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub> et T<sub>4</sub>.

#### 4. DISCUSSION

L'*Atriplex*, qui constitue une espèce clé dans les zones de pâturages, doit sa survie à ses aptitudes endogènes grâce auxquelles elle s'établit et se fixe dans ces mêmes zones à fortes contraintes environnementales [30-32].

Parmi celles-ci la salinité qui dans beaucoup de cas, constitue aussi une sécheresse physiologique, en est la principale contrainte à laquelle l'*Atriplex* fait face [33-35]. Ainsi, au travers des quelques réponses à la fois diversifiées mais non moins complémentaires pour autant, l'*Atriplex* constitue un modèle de choix pour des explorations fines en vue d'identifier des mécanismes physiologiques et biochimiques d'adaptation [36]. En effet, il existe chez *Atriplex halimus* de nombreux mécanismes qui s'installent en guise de réponses adaptatives au stress salin [37]. Chaque paramètre constituerait ainsi, en termes de marqueurs physiologiques ou biochimiques un résultat de l'interaction génotype- milieu, une conjugaison toute naturelle entre la plante et son milieu où un stress est imposé.

Le rendement en phytomasse s'avère à la lumière des résultats, une fonction de la sévérité du stress salin. Ce paramètre, de par sa destination directe en tant qu'aliment du bétail, devient un trait majeur et déterminant. L'élaboration et la quantification de la biomasse, aérienne surtout, traduisent de fait la portée pratique et sensible de ce paramètre. Vu sous un autre angle, la phytomasse contribue de manière substantielle au maintien et à la fixation des sols fragiles.

Le statut énergétique montre combien il est intéressant de vérifier à la fois les seuils optimums de salinité [38] et dans ce cas présent de l'étude, de la combinaison saline la plus appropriée à même de favoriser un meilleur rendement de pigments chlorophylliens.

L'osmoprotection s'étant affirmée comme une nouvelle forme de sélection indirecte, prédictive, d'espèces à potentiel d'adaptation élevé, l'accumulation de sucres solubles, de protéines totales et à un degré moindre de proline, permet de conclure les diverses réponses de l'*Atriplex*.

A cet effet, si cette espèce n'a pas eu recours à un marqueur biochimique tel la proline, pour tolérer les seuils de salinité, elle a néanmoins développé d'autres mécanismes, tels les teneurs en sucres solubles ou protéines totales pour prouver son aptitude adaptative à la salinité et confirmer ainsi son caractère d'espèce halophile.

#### 5. CONCLUSION

Au regard des résultats obtenus, la biomasse fraîche qui est un objectif prioritaire à atteindre semble définitivement lié dans le présent travail, à la fois aux formes mais aussi aux concentrations salines utilisées. En effet, la matière fraîche produite augmente au fur et à mesure que les concentrations augmentent. Des pics sont enregistrés en T<sub>2</sub> et T<sub>4</sub> pour la phytomasse totale (aérienne et racinaire).

La même observation est faite lorsque les matières fraîches sont prises séparément (aériennes et racinaires), en ce sens qu'il y a deux pics en T<sub>2</sub> et T<sub>4</sub> (valeurs les plus élevées).

La production de matière sèche suit la même tendance ; il y a augmentation au fur et à mesure que la concentration saline augmente.

Concernant le statut énergétique, traduit par l'élaboration de pigments chlorophylliens, les résultats montrent qu'il y a une concentration qui est favorable pour une production maximale, celle enregistrée en T<sub>2</sub>, concentration au-delà de laquelle les teneurs en chlorophylles diminuent, notamment en T<sub>4</sub>.

Les plantes semblent avoir à ce niveau de perception du stress, quelques difficultés quand elles sont soumises à une contrainte d'une telle intensité.

Cette difficulté va néanmoins être contournée par une voie métabolique chez la plante.

Le recours à l'osmoprotection sous stress salin intervient par la production maximale de proline en T<sub>3</sub> au moment même où les teneurs en chlorophylles sont les plus faibles. La production élevée en sucres solubles en T<sub>2</sub> et T<sub>3</sub> et en protéines totales en T<sub>2</sub> semble conforter l'hypothèse selon laquelle le végétal négocie son adaptation au stress grâce à des marqueurs physiologiques et biochimiques qui se déclenchent pas forcément en même temps ni avec la même sévérité du stress.

Ainsi, l'exploration fine de l'*Atriplex* sous ses multiples facettes en conditions de stress salin aura permis d'identifier et de quantifier tout autant les divers traits adaptatifs. Ces derniers sont pressentis pour être des traits candidats pour l'adaptation des espèces dans un programme d'amélioration génétique des plantes.



## 6. REFERENCES

- [1] Epstein E., Norlyn J.D., Rush D.W., Kingsbury R.W., Kelley D.B., Cunningham G.A. & Wrona A.F., 1980. Saline culture of crops: a genetic approach. *Science*, 210, 399-404.
- [2] Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P. & Fourcroy P., 1995. Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*, 4, 263-273.
- [3] Poljakof M. & Gale. 1975. Morphological and anatomical changes in plants as a response to salinity stress. In Plant and in saline environments. *Ecological studies*, 15, Springer Verlag, 95-117.
- [4] Gupta R. & Abrol P., 1990. Salts affected soils: their reclamation and management for crop production. *Advances Of soil Science SSSA*, 224-276.
- [5] Halitim A., 1985. Contribution à l'étude des sols sales des zones arides (hautes plaines steppique de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse Doctorat Es Science. Université de Rennes, France, 384 pages.
- [6] Daoud Y., 1993. Contribution à l'étude des sols des plantes du Chélif. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse Doctorat Es Science – INA Alger, Algérie.
- [7] Hamdy A., 1999. Saline irrigation assessment and management for a sustainable use. Saline irrigation: halophyte production and utilization, . 152-226.
- [8] Kinet J.M., Benrebaha F.Z., Bouzid S., Lailhac S. & Dutuit P., 1998. Réseau *Atriplex*. Allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions arides et semi-arides. *Cahiers agricultures* Vol.7, N°6, 505-509.
- [9] Belkhdja M & Benkabilia M., 2000. Proline response of Faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress. *Egypt Journal of Agriculture*. Vol.78, 1, 185-195.
- [10] Glenn E.P., Hicks N., Ripley J. & Swingle S., 1995. Sea water irrigation of halophytes for animal feed. In: Choukr-Allah R, Malcolm CV, Hamdi A., eds. *halophytes and biosaline agriculture*. New York, Basel, Hong Kong, 221-36.
- [11] El Shaer H.M & Kandil H.M., 1998. Potential of *Atriplex* species as fodder shrubs under the arid conditions of Egypt. Short Activity Report. Sustainable halophyte utilization in the Mediterranean and Subtropical dry regions. *Europe concerted actions. IC 18 CT 96-0055*.
- [12] Chretien D., 1992. La résistance au sel chez le jobja (*Simmondsiachinensis* LS) : croissance et modification du contenu lipoprotéique de calcs cultivés en présence d'une teneur élevé en NaCl. Thèse Doctorat, Université, Paris VI, France, 144 pages.
- [13] Franclet A. & Le Houerou H.N., 1971. L' *Atriplex* en Tunisie et en Afrique du nord. Rome : *O.N.U/F.A.O*, p271.
- [14] Kaplan F.L., Robin-Abbott M., Maier R.M. & Glenn E.P., 2002. A comparison of chelator facilitated metal uptaker by a halophyte and a glycophytes. *Environmental toxicology and chemistry* 21, 2698-2704.
- [15] Klotke J., Kopka J., Gatzen N. & Heyer A.G., 2004. Impact of soluble sugar concentration on the acquisition of freezing tolerance in accessions of *Arabidopsis thaliana* with contrasting cold acclimation. *Plant Cell and Environment*, Vol 27, issue 11, p.1395
- [16] Belkhdja M., Djerroudi-Zidane O., Bitassi S. & Hadjadj S. 2010. Effect of salt stress on the proline accumulation in young plants of *Atriplex halimus* L. and *Atriplex canescens* (Purch) Nutt. *European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X* Vol.41, N°2, 249-260.
- [17] Ben Ahmed H., Zid E., El Gazzah M. & Grignon C., 1996. Croissance et accumulation ionique chez *Atriplexhalimus* L. *Cahiers Agriculture*. 5. 367-372.
- [18] Kinet J.M., Benrebaha F.Z., Bouzid S., Lailhac S. & Dutuit P., 1998. Réseau *Atriplex*. Allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions arides et semi-arides. *Cahiers Agriculture*. Vol.7, N°6, 505-509.
- [19] Nedjimi B. 2010. Etude de la résistance d'*Atriplexhalimus* subsp *schweinfurthii* aux sels solubles. *Acta Botanica Gallica*, Vol. 157, n°4, 787-791.
- [20] Henni M. & Mehdadi Z., 2012. Evaluation préliminaire des caractères édaphiques et floristiques des steppes à armoise blanche dégradées réhabilitées par la plantation d'*Atriplex* dans la région de Saida. *Acta Botanica Gallica*, Vol.159, n°1, 43-52.
- [21] Gharaibeh M.A., El Taif N.I. & Albalasmeh A.A. 2011. Reclamation of highly calcareous saline sodic soil using *Atriplexhalimus* and by product gypsum. *International Journal of Phytoremediation*, n°13, 873-883.
- [22] Khodaverdilov H. & hamzenejad Taghlibad R., 2014. Phytoavailability and potential transfer of Pb from a salt-affected soil to *Atriplexverucifera*, *Salicornia europea* and *Chenopodium album*. *Chemistry and Ecology*, Vol. 30, n°3, 216-226.
- [23] Clauser M. & Dall'Acqua S., 2013. Phytochemical investigation on *Atriplex halimus* L. from Sardinia. *Natural Product Research*, Vol. 27, n°20, 1940-1944.
- [24] Bazihizina N., Baret-lennard E.G. & Colmer T.D., 2012. Plant responses to heterogeneous salinity: growth of the halophyte *Atriplex nummularia* is determined by the root-weight mean salinity of the root zone. *Journal of Experimental Botany*, 1-12.
- [25] Bashkar Gupta & Bingru Huang. 2014. Mechanisms of salinity tolerance in plants: Physiological, Biochemical and molecular characterization. *International Journal of Genomics*. Vol 2014, Article ID 701596, 18 pages.
- [26] Hiscox J.D. & Israelsiam G. F., 1978. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*. vol. 57 n°12, 1332- 1334
- [27] Monneveux P. & Nemmar M., 1986. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*T. aestivum* L.) et chez le blé dur (*T. durum* Desf). Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, 6, 583-590.
- [28] Shields R. & Burnett W., 1960. Determination of protein bound carbohydrate in serum by a just modifiedanthrone method. *Analytic Chemical.*, 32 , 885-886.
- [29] Bradford M., 1976. *Anal. Biochem.* 72, 248-254.

- [30] Zidane Ouiza D., Belkhdja M., Bissati S. & Hadjaj S., 2010. Effet du stress salin sur l'accumulation de proline chez deux espèces d'*Atriplex halimus L. et Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. *European Journal of Science*. 41 (2), 101-105.
- [31] Bouda S. & Abdelmadjid H., 2011. Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Advances of soil sciences SSSA*, 273- 277.
- [32] Benaradj A., Mederbal K., Boucherit H., Lotmani. Aibout F. & Baghdadi D., 2014. Les aires de mises en défends, mesures biologiques pour la lutte contre la désertification dans la steppe sud- oranaise de Naama. 3<sup>ième</sup> forum Nat. Agro-Vétérinaire, Tiaret, 13-15 Mai 2014, Algérie.
- [33] Aouissat M., David JW., Hcini K., Belkhdja M. & Correal H., 2011. Osmolyte concentrations in *Atriplex halimus L.* and *Atriplex canescens* (Pursh) Nut adapted to salinity and low temperature. *Annales de Biologica*, Vol. 33, 117-126.
- [34] Badji M., 2011. Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth and ion content of *Atriplex halimus* (chenopodiaceae). *Canadian Journal of Botany*. 80 (3), 297- 404.
- [35] Abdul H., Aysha R., Bilquees G. & Ajmal Khan M., 2014. Salinity inhibits seed germination of perennial halophytes *Limonium stockii* and *sweda fructicosa* by reducing water uptake and ascorbate dependant-oxydant system. *Environmental & experimental Botany*. 107, 32-38.
- [36] Mouri C., Benhassaini H., Bendimered F.Z. & Belkhdja M., 2012. Variation saisonnière de la teneur en proline et en sucres solubles chez l'oyat (*Ammophila arenaria*) provenant du milieu naturel de la côte ouest de l'Algérie. *Acta Botanica Gallica: Botany letter*, Vol. 159, issue1.
- [37] Boughalleb F. & Denden M., 2011. Physiological and biochemical changes in two halophytes, *Nitraria retusa Forsk* and *Atriplex halimus L.* using increasing salinity. *Agricultural Journal*. Vol. 6, 327 - 339.
- [38] Mâalem S. & Rahmoune C., Toxicity of the Salt and Pericarp Inhibition on the Germination of Some *Atriplex* Species. *American-Eurasian Journal of Toxicologic Sciences*,1 (2), 43-49.