

## EFFET DE LA SALINITE SUR L'ACCUMULATION DE LA PROLINE FOLIAIRE D'*ATRIPLEX HALIMUS* L. ET D'*ATRIPLEX CANESCENS* (PURSH) NUTT AUX STADES JUVENILES

Soumia HADJADJ<sup>1\*</sup>, Ouiza DJERROUDI<sup>2</sup> et Samia BISSATI<sup>2</sup>

1. *Laboratoire de Protection des Ecosystemes en Zones Arides et Semi-Arides, Université Kasdi Merbah Ouargla, BP- 511 Ouargla 30000, Algérie.*

2. *Laboratoire de Bio-ressources Sahariennes: Préservation et Valorisation, Université Kasdi Merbah Ouargla, BP- 511 Ouargla 30000, Algérie.*

\*E-mail : [hadjajsoumaia@gmail.com](mailto:hadjajsoumaia@gmail.com)

**RÉSUMÉ :** La proline marqueur biochimique de la résistance ou de la sensibilité des plantes aux stress abiotiques, est dosée à partir des feuilles apicales et basales de deux espèces d'*Atriplex* ; *Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt sont stressées à 400 et 600 meq.l<sup>-1</sup> de NaCl+ CaCl<sub>2</sub> et à 50% et 100% d'eau de mer.

Les résultats montrent la variabilité de l'accumulation de la proline selon l'étage foliaire de la plante, l'espèce, la nature et l'intensité du traitement en sels. L'accumulation de la proline se manifeste davantage dans les feuilles apicales d'*Atriplex halimus* L. avec les deux natures de sels et dans les feuilles basales d'*Atriplex canescens* sous les deux traitements aux sels combinés (NaCl+ CaCl<sub>2</sub>) et à 50% d'eau de mer. A 100% d'eau de mer, la proline se répartit d'une manière similaire dans les deux étages foliaires.

**MOTS-CLÉS :** *Atriplex halimus* L., *Atriplex canescens*, Stress abiotiques, Feuilles apicales, Feuilles basales, Proline.

**ABSTRACT:** The proline biochemical marker of resisting and sensibility of plants to the abiotic stress, is analysed from apexes and basis leaves of two *Atriplex* species; *Atriplex halimus* L. and *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt are stressed to 400 and 600 meq.l<sup>-1</sup> of NaCl+ CaCl<sub>2</sub> and at 50% and 100% of sea water.

The obtained results show the variability of the accumulation of proline according to the level of foliage, the nature and the intensity of the salts treatment. The accumulation of the proline more in apexes leaves of *Atriplex halimus* L. with the two natures of salts and in basis leaves of *Atriplex canescens* under treatment to the combined salts (NaCl+ CaCl<sub>2</sub>) and the sea water diluted at 50%. At 100% of sea water the proline distributes himself in an identical manner in two parts foliages.

**KEYWORDS:** *Atriplex halimus* L., *Atriplex canescens*, Abiotic stress, Apexes leaves, Basis leaves, Proline.

### 1. Introduction

Dans les zones arides et semi-arides, la salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale et le rendement agricole [1]. Les conditions climatiques de ces écosystèmes sont caractérisées par une faiblesse et une forte irrégularité des précipitations [2], associées à une importante évaporation favorisant l'accumulation des sels dans le sol [3].

Ces changements survenus à ces régions imposent la réflexion sur les possibles stratégies à entreprendre en vue de valoriser et de développer ces régions [4]. L'introduction et le développement d'une végétation naturellement résistante à l'aridité et à la salinité constituent une approche prometteuse pour la réhabilitation et la valorisation des sols salés. Ainsi, plusieurs halophytes exprimant de fortes potentialités de croissance, de prélèvement et de stockage de sel dans leurs parties aériennes sont intéressantes pour la fixation et le dessalement des sols dans ces zones [5].

Dans le cadre de cette approche et afin d'explorer l'effet de la salinité sur le comportement biochimique de la plante, nous nous sommes intéressées à une halophyte, l'*Atriplex*. Cette plante a été choisie pour ses intérêts écologiques et économiques, pour son usage comme plante fourragère et pour sa tolérance à la salinité et à l'aridité [6, 7]. Elle est considérée parmi les espèces végétales qui valorisent le mieux l'eau des terrains salés, grâce à sa pression osmotique vacuolaire élevée due à de fortes concentrations en sels [8]. Elle possède par ailleurs, un système racinaire très développé fixant les couches supérieures du sol et peut être utilisée comme moyen de lutte contre la désertification [9].

## 2. Méthodologie de travail

### 2. 1. Matériel végétal

Le matériel végétal ayant fait l'objet de notre étude concerne des graines d'*Atriplex halimus* L. et *canescens* (Pursh) Nutt., provenant de la wilaya de Djelfa à 300 km au sud d'Alger.

### 2. 2. Dispositif expérimental

L'essai a été conduit dans des pots sous serre semi contrôlée au département de biologie de l'Université de Ouargla.

Avant de mettre à germer, les graines sont décortiquées manuellement, désinfectées à l'eau de javel à 5% pendant 5 minutes, puis rincées abondamment à l'eau distillée pour éliminer toute trace de chlore. Elles sont mises à germer dans des alvéoles remplies de terreau jusqu'au stade cinq à six feuilles. Ensuite, les plantules sont repiquées individuellement dans des pots en plastic, à fond tapissé d'une couche de graviers pour assurer le drain, rempli de 2280 g d'un mélange de sable et de terreau (2V/V).

Un arrosage tous les deux jours est opéré à la solution nutritive de HOAGLAND [10], diluée à 1/1000 et apportée à 30% de la CR du substrat pendant deux mois, puis à 60% durant un mois jusqu'à l'application du stress.

### 2. 3. Application du stress

Au 120<sup>ème</sup> jour du semis, le stress salin est appliqué pour les plantes en les répartissant en 5 traitements de 15 répétitions pour chaque espèce :

I : Traitement témoin (solution nutritive).

II : 400 meq de NaCl+ CaCl<sub>2</sub> (V/V) par litre de solution nutritive.

III : 600 meq de NaCl+ CaCl<sub>2</sub> (V/V) par litre de solution nutritive.

IV : Eau de mer diluée à 50% de solution nutritive.

V : Eau de mer pure 100%.

Les plantes stressées sont arrosées une fois durant une semaine aux différentes solutions salines à 60% de la CR du substrat.

A une semaine du stress, les plantes sont prélevées, les feuilles sont découpées dans les zones apicale, médiane et basale de la tige, pesées séparément, enveloppées dans du papier aluminium, puis étuvées durant 48 heures à 80°C. Les échantillons secs sont repesés, broyés et ensuite déposés dans un flacon fermé à l'aide d'un bouchon plasma et placés dans un congélateur en attendant l'extraction et les dosages.

La proline est extraite selon la méthode de l'Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.) [11], modifiée par NGUYEN et PAQUIN [12].

Le dosage a fait appel au protocole de BERGMAN et LOXLEY [13]. Les teneurs sont exprimées en µmoles de proline.100 mg<sup>-1</sup> de MS après lecture de la densité optique à 505 nm au moyen d'un spectrophotomètre UV- VISIBLE, de type Biochrom WPA, de référence 80.3003.76.

## 2. 4. Analyse statistique

Afin de déterminer la signification des traitements appliqués sur le paramètre étudié, nous avons procédé à des analyses de la variance et à la comparaison des moyennes à l'aide du test de Fisher à  $\alpha = 5 \%$  sur 15 échantillons analysés et de chaque traitement à l'aide du logiciel Minitab pour Windows 2000.

## 3. Résultats

### 3. 1. Action du NaCl+CaCl<sub>2</sub> sur la teneur en proline foliaire

La figure 1 montre une accumulation de la proline dans le système foliaire des plantes d'*Atriplex halimus* L. stressées au NaCl+CaCl<sub>2</sub> qui est proportionnelle à la concentration en sels. Cette accumulation est néanmoins plus marquée dans les feuilles apicales que basales. En effet, les teneurs en proline sont de 0,89 et 0,94  $\mu\text{moles.100 mg}^{-1}$  MS pour les feuilles apicales contre 0,61 et 0,78  $\mu\text{moles.100 mg}^{-1}$  MS pour les feuilles basales, respectivement dans les milieux à 400 et 600  $\text{meq.l}^{-1}$  de sels. Au contraire, chez les plantes témoins, la proline se répartit de manière équilibrée aussi bien dans les feuilles apicales que basales 0,53 et 0,52  $\mu\text{moles.100 mg}^{-1}$  MS respectivement.

L'analyse statistique horizontale (Tableau 1) montre que la salinité agit significativement sur l'accumulation de la proline dans les feuilles apicales, quelque soit le traitement, comparativement à celles des plantes témoins et dans les feuilles basales sous le traitement le plus concentré (600  $\text{meq.l}^{-1}$ ). Par contre, le traitement à 400  $\text{meq.l}^{-1}$  n'influe pas sur l'accumulation de la proline dans les feuilles basales.

L'analyse statistique verticale indique une différence significative dans la richesse en proline en faveur des feuilles apicales par rapport aux feuilles basales, seulement en présence de 400  $\text{meq.l}^{-1}$  de NaCl+ CaCl<sub>2</sub>, contrairement aux plantes témoins et celles traitées à 600  $\text{meq.l}^{-1}$  où la différence enregistrée est non significative.

La figure 2 indique que pour les plantes d'*Atriplex canescens* arrosées à la solution nutritive, l'accumulation de l'acide aminé est sensiblement élevée dans les feuilles de l'étage supérieur par rapport aux feuilles basales. Par contre, chez les plantes traitées à 400  $\text{meq.l}^{-1}$  de la solution saline, l'acide aminé évolue des feuilles apicales vers les feuilles basales pour exprimer des teneurs environ deux fois plus élevées que celles des plantes témoins 1,02 contre 0,48  $\mu\text{moles.100 mg}^{-1}$  MS. A forte concentration, l'acide aminé accuse une diminution des teneurs aussi bien pour les feuilles apicales que basales par rapport au traitement précédent 0,75 et 0,91 contre 0,98 et 1,02  $\mu\text{moles.100 mg}^{-1}$  MS, respectivement pour les feuilles apicales et basales.

L'analyse statistique horizontale (Tableau 2) indique que la proline s'accumule de manière significative dans les feuilles avec tous les traitements quelles que soient leurs positions sur la plante. Par contre, l'effet étage foliaire sur l'accumulation de cet acide aminé sous chaque traitement est non significatif, ce qui est indiqué par l'analyse verticale.

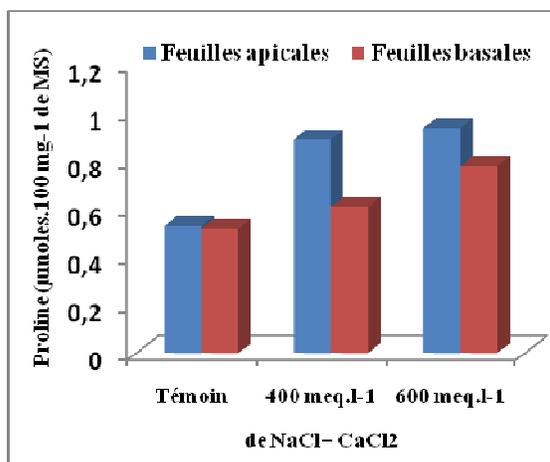


Figure 1 : Teneurs en proline foliaire d'*Atriplex halimus* L. stressées au NaCl+ CaCl<sub>2</sub>.

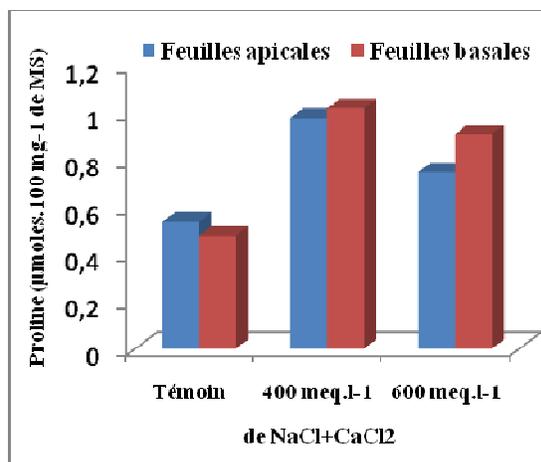


Figure 2: Teneurs en proline foliaire d'*Atriplex canescens* stressées au NaCl+ CaCl<sub>2</sub>.

Tableau 1 : Test statistique de signification de Fischer (à  $\alpha = 5\%$ ) des teneurs en proline foliaire ( $\mu\text{moles.}100 \text{ mg}^{-1} \text{ MS}$ ) d'*Atriplex halimus* L. stressées au NaCl+ CaCl<sub>2</sub>.

	Témoin	400 meq.l <sup>-1</sup>	600 meq.l <sup>-1</sup>	m ± σ
Feuilles apicales	0,53 ± 0,13	0,89 ± 0,21 S	0,94 ± 0,40 S	0,79 ± 0,22
Feuilles basales	NS	0,61 ± 0,18 NS	0,78 ± 0,32 S	0,64 ± 0,13
m ± σ	0,52 ± 0,01	0,75 ± 0,20	0,86 ± 0,11	

S : effet significatif du traitement aux sels sur les teneurs en proline par rapport aux plantes témoins dans le même organe (comparaison horizontale).

S : effet significatif de l'organe sur les teneurs en proline par rapport aux feuilles apicales sous chaque traitement (comparaison verticale).

NS : effet non significatif.

Tableau 2 : Test statistique de signification de Fischer (à  $\alpha = 5\%$ ) des teneurs en proline foliaire ( $\mu\text{moles.}100 \text{ mg}^{-1} \text{ MS}$ ) d'*Atriplex canescens* stressées au NaCl+ CaCl<sub>2</sub>.

	Témoin	400 meq.l <sup>-1</sup>	600 meq.l <sup>-1</sup>	m ± σ
Feuilles apicales	0,54 ± 0,15	0,98 ± 0,33 S	0,75 ± 0,25 S	0,76 ± 0,22
Feuilles basales	NS	1,02 ± 0,43 S	0,91 ± 0,39 S	0,80 ± 0,29
m ± σ	0,51 ± 0,04	1,00 ± 0,03	0,83 ± 0,11	

### 3. 2. Action de l'eau de mer sur la teneur en proline foliaire

Les plantes d'*Atriplex halimus* L. (Figure 3) arrosées à l'eau de mer, manifestent une accumulation de proline dans le système foliaire nettement supérieure à celles des plantes non stressées. Les teneurs en proline obtenues à partir des milieux composés de 50% et 100% d'eau de mer sont environ deux à trois fois plus élevées au niveau des feuilles apicales par rapport à celles des témoins 1,07 et 1,72 contre 0,53  $\mu\text{moles.100 mg}^{-1}$  MS. Par ailleurs, les teneurs obtenues dans les feuilles basales sont plus faibles que celles des feuilles apicales, mais restent plus élevées que celles des témoins. En effet, les teneurs sont environ 1,5 fois plus élevées 0,77 et 0,88 contre 0,52  $\mu\text{moles.100 mg}^{-1}$  MS respectivement.

Les données de l'analyse statistique horizontale (Tableau 3) signalent que l'effet de la salinité sur l'accumulation de la proline est significatif, puisque dans les deux niveaux foliaires, cet acide aminé exprime des teneurs plus importantes par rapport aux témoins. En outre, la comparaison verticale montre que les feuilles basales sont significativement moins riches en proline que les feuilles apicales, et ce quelque soit le traitement.

La figure 4 montre que les plantes d'*Atriplex canescens* répondent différemment à l'eau de mer. En effet, l'arrosage à 50% d'eau de mer, a induit une accumulation de la proline dans le sens descendant de la plante avec une augmentation de 11,46% en faveur des feuilles basales comparativement aux feuilles apicales. Cependant, en présence de 100% d'eau de mer, les teneurs du composé azoté dans les feuilles apicales et basales sont dans le même ordre d'amplitude et représentent environ le double de celles des plantes témoins : 1,08 contre 0,54  $\mu\text{moles.100 mg}^{-1}$  MS pour les feuilles apicales et 1,05 contre 0,48  $\mu\text{moles.100 mg}^{-1}$  MS pour les feuilles basales.

Au niveau des plantes témoins, ce composé azoté est important dans les feuilles apicales.

L'étude statistique (Tableau 4) met en évidence une réponse significative de l'effet de la salinité sur l'accumulation de la proline dans les deux types foliaires comparativement aux plantes témoins. Les teneurs en cet acide aminé n'accusent pas de différences significatives entre les feuilles apicales et basales, quelque soit le traitement, telle que l'indique la comparaison verticale.

### 4. Discussion

Le comportement biochimique de deux espèces d'*Atriplex* : *Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* sous contrainte saline au NaCl+ CaCl<sub>2</sub> et à l'eau de mer évaluée à travers le processus d'accumulation de proline, montrent la variabilité de l'accumulation de ce marqueur biochimique d'un étage foliaire à un autre, selon l'espèce, la nature et la concentration du milieu en sels.

La proline évolue en augmentant davantage vers l'étage foliaire supérieur que celui de la base avec la concentration en sel des plantes d'*Atriplex halimus* L. stressées au NaCl+ CaCl<sub>2</sub> à 400 et 600 meq.l<sup>-1</sup> ou à l'eau de mer diluée de moitié 50% et sans dilution 100%. Chez les plantes témoins, l'acide aminé se répartit d'une manière équilibrée dans les feuilles apicales et basales. Le stress salin sévère, amplifie davantage l'accumulation de la proline dans les feuilles apicales, atteignant pratiquement environ le double à 600 meq.l<sup>-1</sup> 0,94  $\mu\text{moles.100 mg}^{-1}$  MS et le triple à 100% d'eau de mer 1,72  $\mu\text{moles.100 mg}^{-1}$  MS par rapport aux témoins 0,53  $\mu\text{moles.100 mg}^{-1}$  MS.

Ces résultats sont en conformité avec les travaux de BIDAI (2001) [14]. En effet, chez l'*Atriplex halimus* L. stressé au NaCl+ CaCl<sub>2</sub> (400 et 600 meq.l<sup>-1</sup>) et à l'eau de mer (50 et 100%) la proline évolue en augmentant beaucoup plus vers les parties foliaires apicales que vers les feuilles basales de la plante.

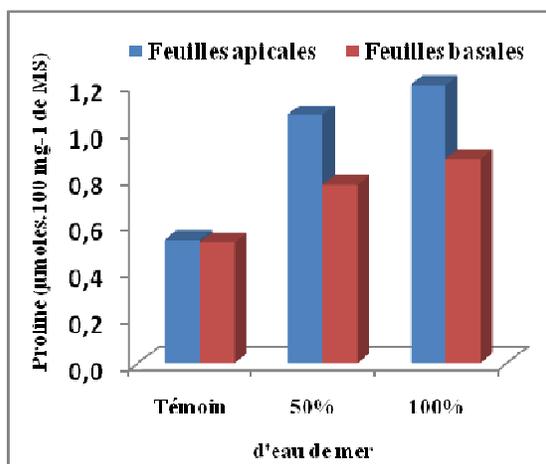


Figure 3: Teneurs en proline foliaire d'*Atriplex halimus* L. stressées à l'eau de mer.

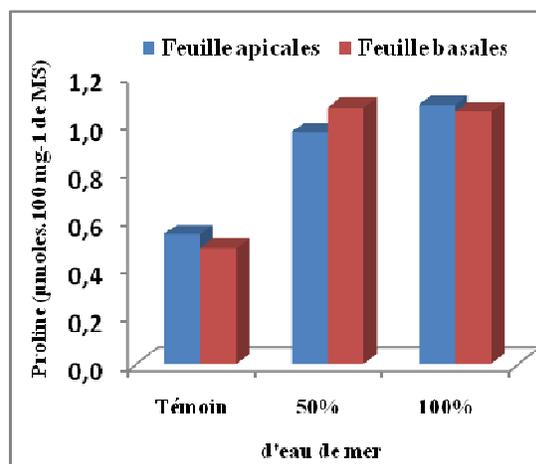


Figure 4 : Teneurs en proline foliaire d'*Atriplex canescens* stressées à l'eau de mer.

Tableau 3 : Test statistique de signification de Fischer (à  $\alpha = 5\%$ ) des teneurs en proline foliaire ( $\mu\text{moles.}100 \text{ mg}^{-1} \text{ MS}$ ) d'*Atriplex halimus* L. stressées à l'eau de mer.

	Témoin	Eau de mer 50%	Eau de mer 100%	m ± σ
Feuilles apicales	0,53± 0,13	1,07± 0,30 S	1,72± 0,60 S	1,11± 0,60
Feuilles basales	0,52± 0,20 NS	0,77± 0,29 S	0,88± 0,16 S	0,72± 0,18
m ± σ	0,53± 0,01	0,92± 0,21	1,30± 0,59	

Tableau 4 : Test statistique de signification de Fischer (à  $\alpha = 5\%$ ) des teneurs en proline foliaire ( $\mu\text{moles.}100 \text{ mg}^{-1} \text{ MS}$ ) d'*Atriplex canescens* stressées à l'eau de mer.

	Témoin	Eau de mer 50%	Eau de mer 100%	m ± σ
Feuilles apicales	0,54± 0,15	0,96± 0,35 S	1,08± 0,37 S	0,86± 0,28
Feuilles basales	0,48± 0,15 NS	1,07± 0,34 S	1,05± 0,46 S	0,87± 0,34
m ± σ	0,51± 0,04	1,02± 0,08	1,07± 0,02	

OULD EL HADJ-KHELIL (2001) [15], indique que chez des plantes de tomate soumises à un stress de 200 mM de NaCl, l'accumulation de la proline est plus importante dans les feuilles jeunes que les feuilles basales, et que l'application d'un second traitement salin déclenche une nouvelle augmentation de l'acide aminé. Cette augmentation est d'autant plus élevée que les tissus foliaires sont jeunes et que la salinité est élevée. Par contre, MARTINEZ et al (2005) [16] montrent que l'exposition des plantes d'*Atriplex halimus* L. à 50 mM de NaCl sous stress hydrique à 0 et 15% de PEG (polyéthylène glycol) induit une accumulation de la proline dans les feuilles âgées plutôt que les feuilles jeunes.

Les plantes d'*Atriplex canescens* répondent différemment à la salinité comparées aux plantes d'*Atriplex halimus* L., lorsque l'arrosage au NaCl+ CaCl<sub>2</sub> et à l'eau de mer diluée de moitié induit une accumulation de la proline dans le sens descendant de la plante vers les feuilles basales. Tandis que, lorsque les plantes sont alimentées entièrement à l'eau de mer, l'acide aminé se concentre de manière similaire dans les deux étages foliaires.

Au niveau des plantes témoins, le composé azoté est important dans les feuilles apicales. Ces résultats sont en accord avec les travaux de LACERDA et al (2001) [17], qui ont constaté que l'exposition de deux génotypes de sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) l'une sensible et l'autre tolérante à 100 mM de NaCl, provoque une augmentation de la proline dans toutes les parties des plantes des deux génotypes, et plus particulièrement dans les feuilles les plus âgées : 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> feuilles à partir de l'apex.

L'accumulation de la proline dans les feuilles basales peut résulter de la forte accumulation des sels dans ces dernières. OULD EL HADJ-KHELIL (2001) [15], rapporte que les feuilles basales les plus âgées participent à la séquestration du Na<sup>+</sup> en excès, ceci s'opère au bénéfice des feuilles jeunes en croissance, qui semblent alors se trouver protégées du Na<sup>+</sup> en excès. HUBER (1974) [18], a montré que le sel inhibe le catabolisme de l'acide aminé au niveau de la Proline Déshydrogénase (proDH), enzyme impliquée dans la dégradation de la proline. Elle pourrait aussi correspondre à la stimulation de sa synthèse. En effet, HU et al (1992) [19] affirment que chez *Vigna aconitifolia*, un gène codant pour la Pyrroline-5-Carboxylate Synthétase (P5CS) est fortement exprimé au niveau des feuilles et des racines des plantes traitées à 200 mM de NaCl.

Les variations dans l'accumulation de la proline observée sur l'*Atriplex halimus* L. et l'*Atriplex canescens* expérimentées, traduisent dans nos conditions expérimentales une aptitude à la résistance des seuils de concentrations salins des milieux de cultures. Généralement, le rôle attribué à la proline dans la réponse des plantes aux stress, reste parfois controversé : pour QIAN et al (2001) [20], son accumulation contribue à l'acquisition de la résistance de la plante à la contrainte saline grâce à l'ajustement osmotique dont la proline est responsable. Elle pourrait, également, intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique [21] ou constituer une réserve de carbone et d'azote réduits, utilisés par la plante postérieurement à la période du stress [22].

#### 4. Conclusion

La réponse biochimique, évaluée à travers le processus d'accumulation de proline foliaire des deux espèces d'*Atriplex* sous stress salins, a mis en évidence le caractère halophile de ces deux espèces, qui expriment leur capacité à synthétiser et accumuler de la proline. L'accumulation de ce composé organique est un phénomène lié aux régimes salins et à l'espèce.

La variabilité inter spécifique révèle que les deux espèces étudiées ont utilisé les mêmes mécanismes de tolérance à la contrainte saline. Toutefois, la différence réside au niveau des teneurs en composé de synthèse. Ainsi, l'*Atriplex canescens* serait plus tolérante que l'*Atriplex halimus* L. Nous pouvons conclure que ce paramètre physiologique est un indicateur important de la tolérance de cette espèce à la salinité.

## Références

- [1] ZID E., GRIGNON C.; 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, AUPELF-UREF. Jon Libbey Eurotext, Paris, 91-108 (1991).
- [2] REZGUI M., BIZID E., BEN MECHLIA N.; Etude de la sensibilité au déficit hydrique chez quatre variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivées en conditions pluviales et irriguées en Tunisie. Revue des Régions Arides, Tome 1, No spécial, 258-265 (2004).
- [3] HAYEK T., ABDELLY C.; Effets de la salinité sur l'état hydrique foliaire, la conductance stomatique, la transpiration et le rendement en grains chez 3 populations de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). Revue des Régions Arides, Tome 1, No spécial, 273-284 (2004).
- [4] BENMQHIOUL B, DAGUIN F, AID-HARCHE M.; Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistacher (*Pistacia vera* L.), C. R. Biologies, 1-7 (2009).
- [5] MESSEDI D., ABDELLY C. ; Physiologie de la tolérance au sel d'une halophyte de recouvrement : *Batis maritima*. Revue des Régions Arides, Tome 1, No spécial, 192-199 (2004).
- [6] ESSAFI N.E., MOUNSIF M., ABOUSALIM A., BENDAOU M., BRHADDA N.; Effet du stress hydrique sur la valeur nutritive d'*Atriplex halimus* L. Sécheresse, Vol.18, No.2, 123-128 (2007).
- [7] ABBAD A., EL HADRAMI A., EL HADRAMI I., BENCHAAABANE A.; *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae): A halophytic species for restoration and rehabilitation of saline degraded lands. Pakistan Journal of Biological Sciences, Vol.7, No.6, 1085-1093 (2004).
- [8] ALAZZEH A.Y., ABU-ZANAT M.M.; Impact of feeding saltbush (*Atriplex* sp.) on some mineral concentrations in the blood serum of lactating Awassi ewes. Small Ruminant Research, Vol.54, 81-88 (2004).
- [9] BELKHODJA M., BIDAI Y.; Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. Sécheresse, Vol.15, No. 4, 331-335 (2004).
- [10] HOAGLAND DR, ARNON DI.; The water-culture method for growing plants without soil, Calif. Agric. Exp. Sta. Cir., 347, 1- 39 (1938).
- [11] ASSOCIATION of OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS; Official methods of analysis. Published by the A.O.A.C., Po. box 540, Washington (1955).
- [12] NGUYEN ST, PAQUIN R.; Méthodes d'extraction et de purification des acides aminés libres et des protéines des tissus végétaux, Journal of Chromatography, 61, 349- 351 (1971).
- [13] BERGMAN I, LOXLEY R.; New spectrophotometric method for the determination of proline in tissue hydrolysates, Analytical Chemistry, 42 (7), 702- 706 (1970).
- [14] BIDAI Y.; Le métabolisme de la praline chez l'*Atriplex halimus* L. stressée à la salinité, Mémoire de magister en physiologie végétale, Université Es-Senia, Oran, 69-71 (2001).
- [15] OULD EL HADJ-KHELIL A.; Contribution à l'étude de réponses métaboliques de la tomate à la salinité. Thèse de doctorat en Science de la Vie et de l'Environnement, Université de Rennes-I (France), 34- 44 (2001).
- [16] MARTINEZ J.P., KINET J.M., BAJJI M., LUTTS S.; NaCl alleviates polyethylene glycol-induced water stress in the halophyte species *Atriplex halimus* L. Journal of Experimental Botany, Vol.56, No.419, 2421- 2431 (2005).
- [17] LACERDA C.F.D., CAMBRAIA J., OLIVA CANO M.A., RUIZ H.A.; Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes, under NaCl stress. R. Bras. Fisiol. Veg. Vol.13, No.3, 270- 284 (2001).
- [18] HUBER W.; Influence of NaCl and abscisic acid treatment on praline metabolism and some further enzymes of amino acid metabolism in seedlings of *Pennisetum thyoides*. Planta, Vol. 121, 379- 39 (1974).

- [19] HU C.A., DELAUNEY A.J., VERMA D.P.; A bifunctional enzyme ( $\Delta^1$ -pyrroline-5-carboxylatesynthetase) catalyzes the first two steps in proline biosynthesis in plant. Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol. **89**, No. 19, 9354- 9358 (1992).
- [20] QIAN Y.L., WILHELM S.J., MARCUM K.B.; Comparative responses of two Kentucky bluegrass cultivars to salinity stress. Crop Science, **41**, 1895-1900 (2001).
- [21] DENDEN M., BETTAIEB T., SALHI A., MATHLOUTHI M.; - Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales, Tropicultura, **23** (4), 220- 225 (2005).
- [22] KELLER F., LUDLOW M.M.; Carbohydrate metabolism in drought-stressed leaves of *Pigeonpea* (*Cajanus cajan*). Journal of Experimental Botany, **44** (265), 1351-1359 (1993).