

ÉVALUATION DE L'EFFET DE DEUX SELS NOCIFS (NaCl ET Na₂SO₄) SUR QUELQUES PARAMÈTRES MORPHO-PHYSIOLOGIQUE DE L'AUBERGINE : *SOLANUM MELANGENA L.* CULTIVÉE EN HORS SOL

ZOUAOUI Ahmed^{1*}, ZATIMI Ines¹ et SNOUSSI Sid Ahmed¹

1. Université Saad Dahlab Blida 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département des Biotechnologies. Laboratoire de Biotechnologie des Productions Végétales, B.P. 270, route de Soumâa, Blida, Algérie

Reçu le 28/05/2019, Révisé le 21/06/2019, Accepté le 27/06/2019

Résumé

Description du sujet : La présence de sels solubles en forte concentration dans les eaux d'irrigation, affecte les paramètres morpho-physiologiques de la plante, et constitue un facteur limitant majeur de la production végétale.

Objectifs : L'objectif de ce travail est d'évaluer les effets de la salinité sur le comportement phénologique de l'aubergine *Solanum melangena L.* variété «Black beauty».

Méthodes : Pour mettre en évidence les potentialités d'adaptation des plantes cultivées et irrigués avec des eaux chargées en sels, nous avons soumis les plantules à un stress salin, préparés avec deux types de sels (NaCl et Na₂SO₄) comparé à un témoin (solution nutritif standard).

Résultats : Les résultats montrent que la contrainte saline entraîne une baisse de tous les paramètres de croissance par rapport au témoin (T₀: solution nutritif standard). Le traitement T₁ préparé avec 100% NaCl est le plus nocif. Concernant la réponse biochimique chlorophylle et proline, Les teneurs les plus élevées en proline sont corrélées avec les quantités les plus faibles de la chlorophylle où le traitement (T₁) confirme l'agressivité de NaCl.

Conclusion : Le comportement de cette espèce en milieu salin est corrélé à l'intensité du stress et à la nature du sel.

Mots-clés : Aubergine; salinité; croissance; analyses biochimiques

EVALUATION OF THE EFFECT OF TWO NOCIF SALTS (NaCl and Na₂SO₄) ON THE MORPHO-PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF THE EGG PLANT GROWN OUT OF SOIL

Abstract

Description of the subject: The presence of soluble salts at high concentration in the irrigated water affects the morpho-physiology parameters of the plant and constitutes a major limiting factor for the crop production.

Object: The objective of this study is to evaluate the effects of the salinity on the phenological behavior of the eggplant variety *Solanum melangena L.* black beauty

Methodology: To show the evidence of the adaptation potentialities of the plants grown out of the soil, salt stress was induced by the application of three treatments prepared with two types of salts (NaCl and Na₂SO₄) compared to the control (standard nutritive solution).

Results: The results show that salt stress causes a decrease in all growth parameters relative to the control (T₀: standard nutrient solution). T₁ treatment prepared with 100% NaCl is the most harmful. Concerning the chlorophyll and proline biochemical response, the highest levels of proline are correlated with the lowest amounts of chlorophyll where treatment (T₁) confirms the aggressiveness of NaCl

Conclusion: The behavior of this species in salty environment is correlated with the intensity of the stress and the nature of the salt

Key words: Eggplant; salinity; growth parameters; biochemical parameters

* Auteur correspondant: ZOUAOUI Ahmed¹, E-mail: ahmedzoauoui09@yahoo.fr

INTRODUCTION

La salinité du sol et de l'eau constitue le problème majeur dans beaucoup des pays du monde. Elle est considérée comme le principal facteur abiotique qui limite la productivité végétale et le rendement agricole [1 et 2]. Dans les écosystèmes arides et semi arides, la salinité résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol et d'une fluctuation de la pluviométrie.

Dans de telles situations, l'agriculteur adopte des pratiques d'irrigation. Avec le temps, les sels s'accumulent et provoquent la salinisation des sols. Aujourd'hui, 20% des terres cultivées et près de la moitié des terres irriguées sont affectées par la salinité [3], au total 6% de la surface terrestre [4].

L'effet négatif de la forte salinité peut être observé au niveau de toute la plante où celle-ci développe des stratégies d'adaptation soit pour exclure le sel de leurs cellules ou de le stocker dans des poches à sel spécialisées. [5] Seules les plantes dites halophytes s'épanouissent sur un sol riche en sels. La majorité des glycophytes cultivées appartiennent à des espèces ne tolérant pas la salinité.

Le stress salin est le résultat d'un déficit hydrique dans la plante sous forme de sécheresse physiologique [6]. Ce stress osmotique se traduit essentiellement par l'accumulation toxique des ions dans les cellules et/ou un déséquilibre nutritionnel dû à un excès de certains ions [7]. En effet, selon le degré de stress dans le milieu, les plantes sont exposées à des modifications de leur comportement morpho-physiologique, anatomique et biochimique [8]. Dans ces conditions, les plantes se trouvent en situation stressante et développent des mécanismes de défense [9]. Parmi ces mécanismes, l'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à un stress [10]. La plante devra synthétiser des solutés organiques pour ajuster son potentiel hydrique.

Une autre stratégie d'adaptation à la salinité consiste à synthétiser des osmoprotecteurs, principalement des composés aminés et des sucres, accumulés dans le cytoplasme et les organites [11, 12 et 13].

En Algérie, les problèmes de salinité sont particulièrement importants dans les régions où les eaux d'irrigations renferment des quantités excessives de chlorures de sulfates et du sodium qui peuvent atteindre 2g/l [14].

Notre travail porte sur l'étude de la réponse de la variété Black beauty de *Solanum melangena* L. soumise à un stress salin. Pour mettre en évidence la réponse de la variété, nous avons procédé à une étude des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Matériel végétal

L'espèce utilisée durant notre expérimentation est l'aubergine : *Solanum melangena* L. variété "black beauty" de couleur noire, dont les semences proviennent de l'institut technique des cultures maraichères et industrielles (ITCMI) de Staouali. Cette espèce présente une tolérance moyenne à la salinité. Après la germination des graines à l'étuve à 25°C, un repiquage des jeunes germes en place définitive dans des pots de capacité de 3 litres; remplis de gravier roulé d'oued 3 à 8 mm de diamètre préalablement désinfecté et rincé abondamment à l'eau. Nous avons procédé à l'application des différents traitements salins 30 jours après le repiquage. Notre étude expérimentale a été menée selon un dispositif expérimental en randomisation total, à un facteur étudié "solution d'irrigation" avec 9 répétitions soit 36 plants au total.

2. Composition des différents traitements

Nous avons préparé les différents traitements à partir de l'eau de robinet de Blida. La composition des différents traitements appliqués sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1: Description des différents traitements

Références eaux	Éléments en még / l									
	pH	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ⁻³	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺
Eau de Blida naturelle	7,2	0,35	0,00	0,00	0,60	0,80	1,30	2,80	1,80	0,00
Eau de Blida Corrigée (T0) témoin	5,8	10,20	1,80	3,30	0,60	1,50	1,30	5,10	1,80	4,25
T1 : 100% NaCl	7,3	0,35	0,00	0,00	9,20	0,80	9,90	2,80	1,80	0,00
T2 : 100% Na ₂ SO ₄	7,3	0,35	0,00	0,00	0,60	9,40	9,90	2,80	1,80	0,00
T3 : 50%NaCl+ 50%Na ₂ SO ₄	7,3	0,35	0,00	0,00	4,9	5,10	9,90	2,80	1,80	0,00

3. Mesures biométriques

Trois paramètres ont été mesurés dans les conditions de stress salin. Les caractères retenus se rapportent au comportement et au développement végétatif des plantes. (i) nombre de feuilles, (ii) hauteur des plantes (mesurée en utilisant une règle graduée du collet à l'insertion du méristème apicale), (iii) poids de la matière sèche (PS). La biomasse des feuilles et des tiges exprimée en g de matière sèche, est séchée dans l'étuve à $70 \pm 2^\circ\text{C}$ puis pesée jusqu'à stabilité du poids.

4. Mesures biochimiques

Les analyses biochimiques effectuées portent sur la teneur en proline et en chlorophylles "a et b". Les dosages ont été effectués 20, 40 et 60 jours après l'application des traitements.

La proline est dosée selon la technique utilisée par Troll et Lindesly (1955) simplifiée et mise au point par Dreier et Goring (1974) et modifiée par Monneveux et Nemmar [15]. Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon. La densité optique est lue à 528 nm au spectrophotomètre.

L'extraction de la chlorophylle "a et b" est réalisée selon la méthode de Francis *et al.* (1970) in Bouzid [16]. Après 48h, on procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes (645 et 663 nm).

5. Analyse Statistique

Afin de déterminer la signification de l'effet traitement sur les paramètres étudiés, nous avons procédé à des analyses de la variance et à la comparaison des moyennes selon la méthode de Newman et Keuls, basée sur la plus petite différence significative, à l'aide du test de Fisher à $\alpha=5\%$.

RÉSULTATS

1. Hauteurs des plants

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($p < 0,001$) entre les différentes moyennes mesurées. Les résultats obtenus montrent qu'il y a une diminution de la hauteur des plants au niveau des traitements comparée au témoin. La hauteur la plus élevée est enregistrée au niveau du traitement T_0 , suivi par les traitements soumis au stress salin (T_2 , T_1 , T_3) respectivement (Fig. 1). Les plants irrigués avec le traitement T_3 sont les plus affectés par le sel et montrent une réduction de la hauteur atteignant les 20,06% à la concentration 4,30meq/l de NaCl et Na_2SO_4 chacun. Par ailleurs, on note, une réduction de 17,55% chez le traitement T_1 (8,60 meq/l de NaCl) contre 10,30% chez T_2 (8,60 meq/l de Na_2SO_4). Les faibles hauteurs obtenues peuvent être expliquées par la présence de sels nocifs tels que NaCl dans les solutions d'irrigations provoquant une réduction de la division et de l'allongement cellulaire, ce qui entraîne une nette diminution de la croissance de la plante.

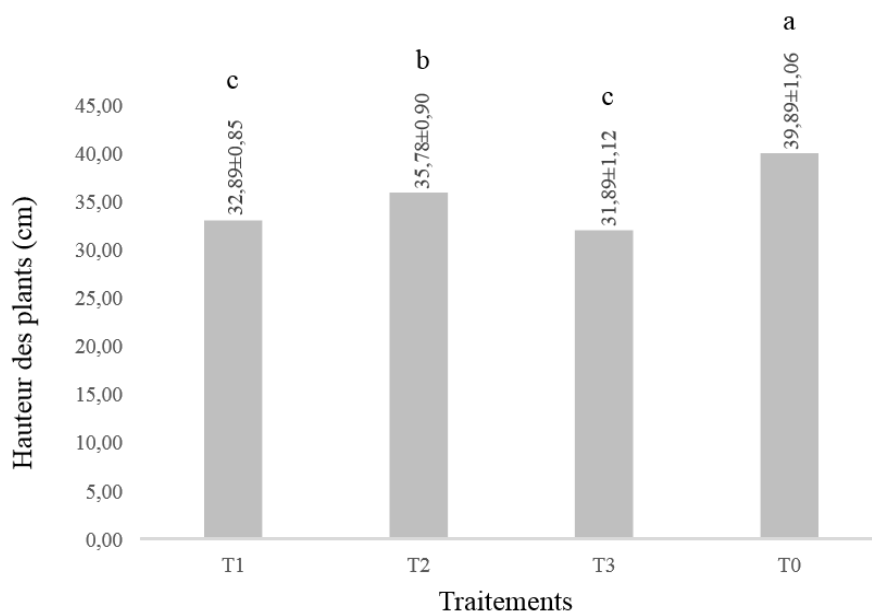


Figure 1: Hauteurs des plants

2. Nombre des feuilles

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative. Les mesures effectuées au moment de la coupe ont montré que le nombre des feuilles le plus faible est celui des plants alimentés par le traitement (T1 et T3) (Fig. 2), avec une réduction de (-63,93% et -63,39%) où la concentration en NaCl est importante (100% , 50%) respectivement suivi par le traitement T₂

enrichis en Na₂SO₄ avec une réduction de (-51,19%). Les plantes irriguées avec la solution nutritive standard (T0) présentent le nombre des feuilles le plus élevés, ceci en raison de l'équilibre parfait de la balance ionique et la présence des éléments utilisés pendant le processus photosynthétique tels que l'azote, le phosphore, le potassium ainsi que les oligo-éléments (Fig. 2).

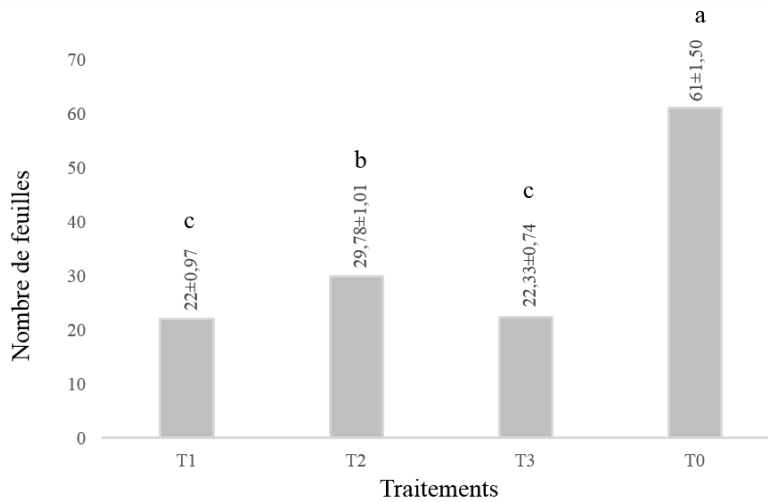


Figure 2 : Nombre des feuilles

3. Biomasse sèche des feuilles et des tiges

Les résultats obtenus montrent que l'effet traitements exerce une action très hautement significative sur la biomasse sèche des feuilles et des tiges. Nous remarquons que les plantes irriguées par le traitement (T1) où le sodium est lié avec les chlorures (NaCl) manifestent la production en matière sèche des feuilles et tiges la plus faible (Fig. 3) avec des réductions de (-61,71%, -63,96%) et ce par rapport au témoin(T0) respectivement. Alors que les taux de réduction du poids sec des feuilles et de tiges les plus faibles (-54,04%, -55,70%) sont obtenus par le traitement salin (T2) respectivement.

Le poids sec décroît sous l'effet du stress salin. Les jeunes organes des plantes irriguées avec des eaux salines (T1, T2, T3) se nécrosent et les feuilles apicales se fanent aboutissant à une diminution de la biomasse sèche des organes des plantes. En revanche, les plantes alimentées par la solution nutritive témoin (T0) présentent une absorption hydrominérale élevée ceci en raison de l'équilibre ionique parfait, les quantités adéquates en éléments nutritifs et un pH favorable à l'absorption avec 5,5 et 5,8 se traduisant ainsi par des biomasses importantes (Fig. 3).

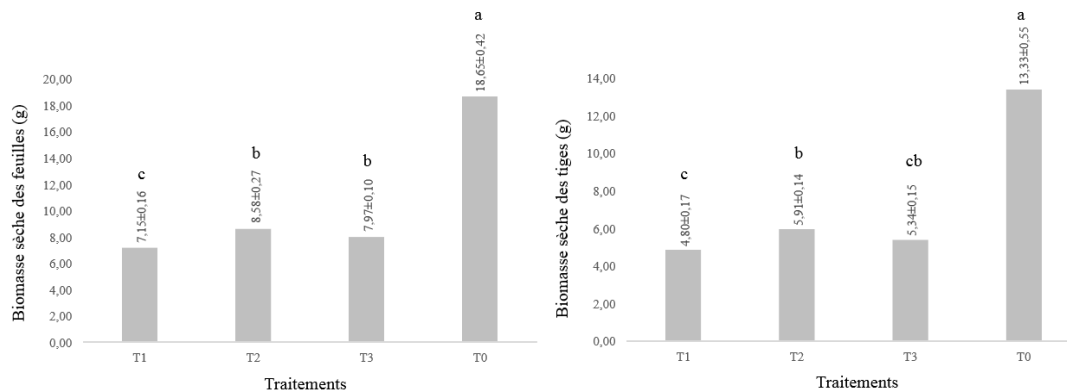


Figure 3: Biomasse sèche des feuilles et des tiges

4. Teneur en proline dans les feuilles

La proline est un acide aminé synthétisé par la plante pour se défendre contre le stress environnemental. Le métabolisme des végétaux est perturbé par le stress salin et notamment le métabolisme des acides aminés libres, dont la proline constitue un marqueur de résistance. La figure 4, illustre les variations des teneurs en proline, analysée dans les feuilles des plantes de l'aubergine soumises à la salinité. L'analyse de la variance à un critère de classification, montre l'existence d'une différence très hautement

significative des traitements testés sur la teneur en proline au niveau des feuilles ($p < 0,001$).

Nous remarquons durant les trois périodes, que le traitement salin (T1) enrichi en NaCl (8,60meq/l), présente les teneurs les plus fortes en proline par rapport aux traitements (T2 et T3) et au traitement témoin (T0). Ce dernier, présente les teneurs les plus faibles. L'accumulation de cet osmoprotecteur est progressive au niveau des feuilles qui augmente avec l'intensité du stress ainsi que la nature des sels utilisés.

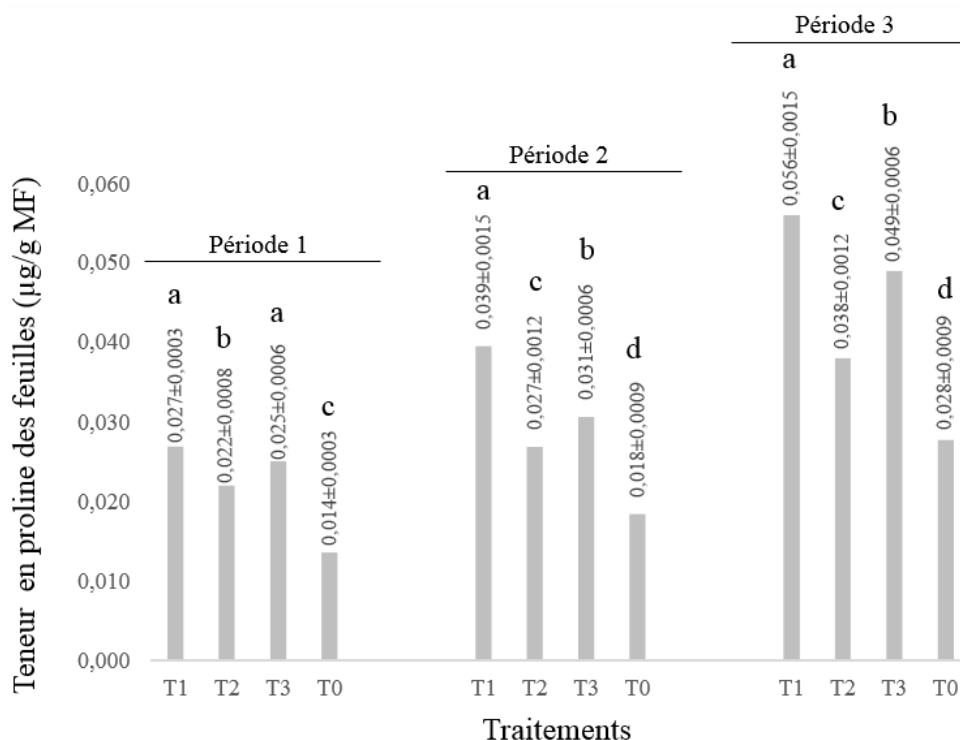


Figure 4 : Teneur en proline dans les feuilles

5. Teneur en chlorophylles

Les résultats présentés dans les figures 5 et 6 montrent que la salinité exerce un effet remarquable sur les trois traitements salins en réduisant significativement la formation des pigments chlorophylliens durant les trois périodes du stress appliqué (20, 40 et 60 jours). Il en ressort des figures 5 et 6 que le témoin (T0) présente les teneurs en chlorophylles "a et b" plus importantes comparativement aux plantes de l'aubergine ayant cultivées sur des milieux salins contenant différentes

concentrations de NaCl et Na₂SO₄. Nous remarquons, que le traitement T1 testé (100% NaCl avec une concentration de 8,60meq/l) manifeste les valeurs les plus faibles de la chlorophylle "a et b" avec des taux de réductions de (-58,78%, -68,85%), durant la période 1 (après 20 jours), (-64,03 % et -74,50%) durant la période 2 (après 40 jours), enfin (-75,03% et -79,39%) durant la période 3 (après 60 jours), et ce par rapport au témoin respectivement.

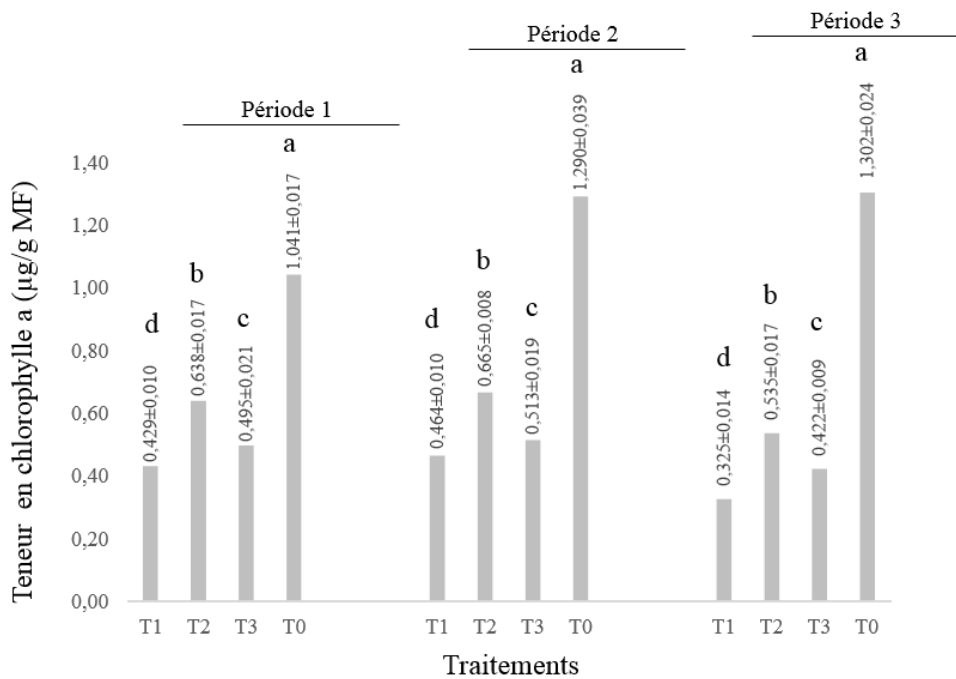


Figure 5 : Teneur en chlorophylle a



Figure 6 : Teneur en chlorophylle b

DISCUSSION

L'étude de la tolérance de la variété "Black beauty" de l'aubergine à la salinité s'est appuyée sur l'analyse d'un certain nombre de paramètres morphologiques et physiologiques déterminés sur des plantes cultivées dans trois milieux salins. La salinité réduit la croissance des plantes chez l'ensemble des plantules traitées.

La diminution de la croissance peut être causée par l'augmentation de la concentration de Cl⁻ dans le tissu [18]. Cette diminution a été signalée par El Goumi *et al.* [17].

Il a été constaté que les eaux salines ont provoquées une réduction des paramètres biométriques mesurés à savoir la hauteur des plantes, le nombre des feuilles et la biomasse sèche.

Nous avons remarqué que cette réduction est plus importante au niveau du traitement T1 où le sodium (Na^+) est lié aux chlorures (Cl^-). Ceci peut s'expliquer par le fait que la diminution de la croissance est une réponse à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante. De plus le déséquilibre ionique entraînant une perturbation dans la nutrition des plantes notamment en éléments fondamentaux tels que le potassium, le calcium et le magnésium qui entraînent des déséquilibres photosynthétiques. En effet, la salinité est susceptible de perturber la nutrition minérale des plantes en interférant avec le prélèvement de certains éléments essentiels comme le potassium et le calcium et ceci soit par substitution, soit par compétition au niveau des sites d'absorption membranaire [21].

Nos résultats sont en concordance avec les travaux de Khalil *et al.* [22], dans lesquels ils ont révélés que six espèces d'Acacia, ont réagi également par une réduction de la croissance de la partie aérienne en réponse au stress salin. La croissance en hauteur, le nombre de feuilles et la biomasse sèche totale sont les paramètres les plus affectés. Cet état de la plante est fréquent chez les glycophytes [23], où la diminution de la croissance de l'appareil végétatif observée peut s'expliquer par une augmentation de la pression osmotique provoquée par NaCl , ce qui bloque l'absorption de l'eau par les racines. Les plantes s'adaptent ainsi au stress salin par la réduction de leur croissance afin d'éviter les dommages causés par le sel [24 et 25]. Les effets de la salinité sur la croissance des plantules cultivées en conditions semi contrôlées, dépendent de plusieurs facteurs. Ils varient selon la teneur de NaCl appliquée, l'espèce, la provenance, le stade végétatif et la partie aérienne de la plante [26]. Les travaux de Warne *et al.* [19], ont montré à cet égard que les signes de stress les plus évidents au niveau de la végétation arrosée par des eaux chargées en sel sont ceux d'une sécheresse physiologique se manifestant par un aspect général rabougri de la plante, par une diminution de la surface foliaire, de la masse racinaire et par un dessèchement partiel de la végétation.

La réduction de la croissance, dans les conditions d'un stress salin est attribuée à plusieurs facteurs, parmi lesquels l'accumulation des ions, aussi bien en Na^+ qu'en Cl^- à des teneurs élevées dans les tissus foliaires qui est la cause principale des contraintes

ioniques au niveau des tissus de la plante [27]. Selon ces auteurs, le stress salin cause un déséquilibre nutritionnel qui provoque l'inhibition de l'absorption des éléments nutritifs essentiels comme le Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , NO_3^- par les phénomènes de compétition minérale de fixation apoplasmique [28].

L'intérêt porté aux caractères physiologiques d'adaptation aux contraintes environnementales a attiré l'attention de nombreux chercheurs. La teneur en proline et la fluorescence chlorophyllienne sont considérées comme des outils de détection rapides et efficaces en agriculture.

L'accumulation de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress au déficit hydrique chez *Sesuvium portulacastrum* [29] et à la salinité, chez *Atriplex halimus* L. [30]. Cette aptitude des plantes à la synthèse et à l'accumulation de proline n'est pas spécifique seulement aux halophytes [31], elle l'est également pour de nombreuses glycophytes, telles que la tomate [32], l'orge [33] et le blé dur [34]. Généralement, le rôle attribué à la proline dans la réponse des plantes aux stress, reste parfois controversé. En effet, Zerrad *et al.* [34], soulignent que l'accumulation contribue à l'acquisition de cette résistance grâce à l'ajustement osmotique dont la proline est responsable [35]. Elle pourrait, également, intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique [9] ou constituer une réserve de carbone et d'azote réduits, utilisés par la plante postérieurement durant la période du stress [36]. Les travaux de Denden *et al.* [9], ont montré que l'augmentation des teneurs en sels, provoque un déséquilibre du potentiel osmotique du milieu externe, ce dernier présente une concentration plus élevée que le milieu interne. Cela induit une repense de défense qui se traduit par la production de la proline dans le but de réajuster l'osmolarité interne et permettre à l'eau de passer du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré.

Dans notre étude, la réponse physiologique analysée à travers l'expression de l'accumulation de la proline montre que le stress salin appliqué, amplifie davantage l'accumulation de ce soluté dans les feuilles, atteignant pratiquement des teneurs importantes surtout au niveau des plants alimentés par le T1 et ceci par rapport au témoin.

Ces résultats sont en conformité avec les travaux de Bouassaba et Chougui [37], l'étude sur des plantules de piment doux (*Capsicum annuum L.*) qui ont été soumises à différentes concentrations de NaCl a montré que l'accumulation de proline est positivement corrélée avec la salinité. De même Kaya et al. [38], ont signalé que l'accumulation de proline augmente chez les plants de maïs soumis à un stress salin. Les feuilles de maïs sucré à 400 mM de NaCl, ont accumulé plus de 600 µmol g⁻¹ de proline [38].

Parallèlement à cette augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress, une baisse dans les teneurs en pigments chlorophylliens "a et b" a été, en revanche, enregistrée. Les teneurs en chlorophylle "a et b" ont été significativement réduites par l'effet de la salinité. Ainsi, chez le témoin, les teneurs en chlorophylles sont restées élevées, comparativement aux teneurs en chlorophylles dosées chez les plantes irriguées par les solutions salines (T1, T2, et T3). Les réductions les plus importantes ont été notées en présence de 8,60 meq/l de NaCl (Fig. 5 et 6). La réduction de la photosynthèse dépend de deux aspects de la salinisation notamment, la concentration et la composition ionique de la solution saline. En effet, une forte concentration en sels réduit l'eau disponible à la plante, et crée un stress osmotique qui rend le transport électrochimique photosynthétique inactif [20].

La réduction de la chlorophylle "a et b" a est peut être liée à la sensibilité de sa biosynthèse au chlorure de sodium. Ce dernier affecte moins la voie de biosynthèse de la chlorophylle (b) [21]. Le stress salin joue un rôle dans la diminution de l'activité de la chlorophylle et inhibe la synthèse de l'acide 5-amino levulinique [39]. Sous contraintes hydriques, il est constaté une perturbation au niveau des réactions photochimiques de la photosynthèse avec un blocage du transfert d'électrons entre LHCI et PSII [40]. La diminution du taux du CO₂ dans les feuilles est associée à une inhibition de la photosynthèse.

En cas de stress induit par la salinité, et lorsque les niveaux de Na⁺ et de Cl⁻ augmentent dans les tissus foliaires, les performances photosynthétiques diminuent simultanément [27]. La présence d'ions Na⁺ dans le cytosol inactive plusieurs étapes de la photosynthèse, y compris le transport d'électrons [20].

Une concentration élevée de Cl⁻ entraîne une dégradation de la chlorophylle causée par le rétrécissement des membranes de la thylacoïde et l'empilement des membranes granulaires dans le chloroplaste [41]. De tels changements au chloroplaste dus à l'hyperaccumulation de Na⁺ et Cl⁻ affectent le rendement quantitatif du PSII. Lorsque les ions de sel franchissent le seuil et atteignent des niveaux élevés, la chlorophylle dégénère [40]. Ce qui influe sur la production de matière végétale.

CONCLUSION

A travers notre expérimentation, il a été confirmé encore une fois de plus, que la salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes se développant dans des milieux salins, caractéristiques des régions arides et semi-arides qui souffrent des problèmes de la salinisation des sols et des eaux d'irrigation. Le stress salin a provoqué des perturbations morphologiques, biochimiques et physiologiques sur l'aubergine *Solanum melangena L.* et a induit des augmentations des teneurs en proline, proportionnellement aux concentrations appliquées. Les teneurs en chlorophylles, élongation des tiges, nombre des feuilles, ont été réduites, surtout avec les eaux d'irrigation chargées en sels T1 (NaCl à 100%) suivie par T3 (NaCl à 50% et Na₂SO₄ à 50%) et T2 (Na₂SO₄ à 100%) respectivement. La plante a développé des mécanismes d'adaptation pour se défendre contre le stress salin en réduisant la croissance et ainsi éviter des dommages des cellules. C'est l'effet le plus commun des stress abiotiques sur la morphologie, la physiologie et biochimie des plantes. La réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique (salin). En fait, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages seront irréversibles.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Rozema J. and Flowers T. (2008). Crops for a salinized world. *Science*, 322: 1478-1480.
- [2]. Abd-Latef A. (2010). Changes of antioxidative enzymes in salinity tolerance among different wheat cultivars. *Cereal Res. Comm.*, 38:43-55.

- [3]. **Abdelly C., Benamour N., Benhamed K., Debez A. and Grignon C. (2005).** Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. *Plant Science*, 168 : 889 - 899.
- [4]. **Cécile V. (2014).** *Le stress salin (Salt stress)*, Ed LGBP (Laboratoire de génétique et biophysique des plantes- UMR 6191 –CEA) APE - Master MBVB, 52 p.
- [5]. **Parida A. and Das A.B. (2005).** Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60 :324-349.
- [6]. **Mahajan S. and Tuteja N. (2005).** Cold salinity and drought stresses. *An overview Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444(2): 139-158.
- [7]. **Souguir D., Jouzdan O., Khouja M.L., and Achicha M. (2013).** Suivi de la croissance d'*Aloe vera* en milieu salin : Parcelle de kalaat Landelous (Tunisie). *Etude et Gestion des Sols*, 30(3) :19-26.
- [8]. **Nasir-Khan M.H., Siddiqui F., Mohammad M., Naeem M. and Masroor A.K. (2010).** Calcium chloride and gibberellic acid protect linseed (*Linum usitatissimum* L.) from NaCl stress by inducing antioxidative defense system and osmoprotectant accumulation. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32(1):121-132.
- [9]. **Denden M., Bettaieb T., Alef S. and Mathlouthi M. (2005).** 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.
- [10]. **Munns R. (2005).** Genes and salt tolerance: Bringing them together. *New. Phytol.*, 167(3): 645-663
- [11]. **Ashraf M., Asins J.M., Villata L., Aly M.M., Olias R., Moralles P.A. and Huertas R. (2012).** Two closely linked tomato HKT coding gene are positional Na^+/K^+ homeostasis. *Plant Cell. Environ*, 36: 1171-1191.
- [12]. **Chen H. and Jiang J.G. (2010).** Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. *Environ. Rev.* 18 (NA) : 309-319.
- [13]. **Majumder A.L., Sengupta S. and Goswami L. (2010).** *Osmolyte regulation in abiotic stress*. Chapitre dans *Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation*. Sous la direction d'A. Pareek, S.K. Sopory, H.J. Bohmert et Govindjee.p.349-370.
- [14]. **Imalet R. (1979).** Influence de différentes concentrations de sels (NaCl , Na_2SO_4) des eaux d'irrigation sur le rendement du haricot. *Mém. Ing., I.N.A, El Harrach. Alger.* 43p.
- [15]. **Monneveux Ph. et Nemmar M. (1986).** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, 6 (6) :583-590.
- [16]. **Bouزيد S. (2010).** Étude de l'effet de la salinité et de la présence du molybdène sur le comportement éco physiologique de deux variétés de plantes de l'espèce *Phaseolus vulgaris* L. Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine, 178 p.
- [17]. **El Goumi Y., Fakiri M., Lamsaouri O. and 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*, 5(2): 625- 632.
- [18]. **Tavakkoli E., Fatehi F., Coventry S., Rengasamy P. and Mc Donald G.K. (2011).** Additive effects of Na^+ and Cl^- ions on barley growth under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, 62(6):2189-2203.
- [19]. **Warne P., Guy R.D., Rollins L. and Reid D.M. (1990).** The effect of sodium sulphate and sodium chloride on growth, morphology, photosynthesis and water use efficiency of *Chenopodium rubrum*. *Can. J. Bot.*, 68: 999-1006.
- [20]. **Allakhverdiev S.I., Nishiyama Y., Suzuki I., Tasaka Y., Sakamoto A. and Murat N. (2000).** Genetic engineering of the unsaturation of fatty acids in membrane lipid alters the tolerance of *Synechocystis* to salt stress. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, (96):5862-5867.
- [21]. **R'him T., Tlili I., Hnan I., Ilahy R., Benali A. et Jebari H. (2013).** Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annum* L.). *Journal of Applied Biosciences*, 66:5060–5069.
- [22]. **Khalil C., Abdelmjid A., El Houssine B. et Abelhamid E. (2017).** Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la croissance de six espèces d'acacia. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 4(4): 105-113.
- [23]. **Chartzoulakis K. and Klapaki G. (2000).** Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 86(3): 247-260.
- [24]. **Yeo A. and Flowers T. (1983).** Varietal differences in the toxicity of sodium ions in rice leaves. *Physiologia Plantarum*, 59(2): 189-195.

- [25]. **Zhu J.-K. (2002).** Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual review of plant biology*, 53: 247-273.
- [26]. **Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P. et Casse-Delbart F. (1995).** Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*, 4(4): 263-273.
- [27]. **Munns R., James R.A. and Läuchli A. (2006).** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57(5): 1025-1043.
- [28]. **Lépengué A.N., Mouaragadja I., Chérif M., M'batchi B. and Aké S. (2009).** Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la croissance de la roselle au Gabon. *Afrique Science*, 5(3): 97-110.
- [29]. **Slama I., Messedi D., Ghnaya T. et Abdely C. (2004).** Effet du déficit hydrique sur la croissance et l'accumulation de la proline chez *Sesuvium portulacastrum*. *Revue des Régions Arides*, 1 : 234-241.
- [30]. **Bidaï Y. (2001).** 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.
- [31]. **Hu C.A., Delauney A.J. and Verma D.P. (1992).** A bifunctional enzyme (delta 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase) catalyzes the first two steps in proline biosynthesis in plant. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89(19): 9354- 9358.
- [32]. **Hernandez S., Deleu C. and Larhe R.F. (2000).** Accumulation de proline dans les tissus foliaires de tomate en réponse à la salinité. *Comptes Rendus Académie des Sciences. Paris, Sciences de la Vie/ Life Sciences*, 323: 551-557.
- [33]. **Hassani A., Dellal A., Belkhodj A.M. et Kaid-Harche M. (2008).** Effet de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). *European Journal of Scientific Research*, 23(1) : 61-69.
- [34]. **Zerrad W., Hillali S., Mataoui B., EL Antri S. et Hmyene A. (2006).** Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. Congrès International de Biochimie, Agadir : 371-376.
- [35]. **Qian Y.L., Wilhelm S.J., Marcum K.B., (2001).** Comparative responses of two Kentucky bluegrass cultivars to salinity stress. *Corp Science*, 41: 1895-1900.
- [36]. **Keller F. and Ludlow M.M. (1993).** Carbohydrate metabolism in drought-stressed leaves of *Pigeonpea (Cajanus cajan)*. *Journal of Experimental Botany*, 44(265): 1351-1359.
- [37]. **Bouassaba K. et Chougui S. (2018).** Effet Du Stress Salin Sur Le Comportement Biochimique Et Anatomique Chez Deux Variétés De Piment (*Capsicum annuum* L.) à Mila (Algérie). *European Scientific Journal*, 14(15):159-174.
- [38]. **Kaya C., Tuna A.L. and Okant A.M. (2010).** Effect of foliar applied kinetin and indole acetic acid on maize plants grown under saline conditions. *Turkish Journal Agriculture*, 34:529-538.
- [39]. **Santos C.V. (2004).** Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae*, 103(1): 93-99.
- [40]. **Yang S.X., Zhao Y.X., Zhang Q., He Y.K., Zhang H. and Hali L. (2011).** Mediated salt adaptation in *Arabidopsis thaliana*. *Cell Res*, 11: 142-148.
- [41]. **Durner E.F (2013).** *Principles of Horticultural Physiology*. CABI Oxfordshire UK, 416 p.