

Suivi de la croissance d'*Aloe vera* en milieu salin : Parcelle de Kalaât Landelous (Tunisie)

D. Souguir^(1*), O. Jouzdan⁽²⁾, M.L. Khouja⁽¹⁾ et M. Hachicha⁽¹⁾

1) Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts (INRGREF). Rue Hédi Karray, Manzeh IV BP 10, 2080-Ariana, Tunisie

2) The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands (ACSAD). P.O. Box 2440, 1139-Damascus, Syrian Arab Republic

*: Auteur correspondant: souguir.dalila@yahoo.com

RÉSUMÉ

Dans le but d'occuper des terres salées, des cultures alternatives peuvent être utilisées telles que l'*Aloe vera*, une plante de valeurs thérapeutiques et économiques importantes. L'expérimentation a eu lieu sous conditions naturelles dans la région de Kalaât Landelous sur un sol hydromorphe fortement salin, à nappe superficielle et salée. L'irrigation estivale des plants d'*Aloe vera* par des eaux usées traitées et la faible teneur en ETM dans ces eaux ne font pas apparaître un réel effet de l'irrigation avec ces eaux sur les plants. Cependant, une faible croissance de la partie foliaire a été notée, due probablement à la dominance des ions Na^+ par rapport aux K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} dans ces organes.

Mots clés

Aloe vera, éléments minéraux, ETM, Kalaât Landelous, sol salin.

SUMMARY

MONITORING OF THE ALOE VERA GROWTH IN SALT-AFFECTED SOIL: PLOT OF KALAÂT LANDELOUS (TUNISIA)

In order to reclaim salt-affected soils, alternative crops can be used such as Aloe vera, a plant with high therapeutic and economic values. The experiment was taken under natural conditions in the region of Kalaât Landelous in an hydromorphic soil, which is highly saline and which has a shallow saline groundwater. The summer irrigation of Aloe vera and the low metallic traces elements concentrations in the treated wastewater did not shown a real effect of irrigation on plants. However, a no variation of the leaf growth was noted, probably due to the dominance of Na^+ in this organ compared to K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} .

Key-words

Aloe vera, Kalaât Landelous, mineral elements, salinity.

RESUMEN**SEGUIMIENTO DEL CRECIMIENTO DE ALOE VERA EN MEDIO SALINO: Parcela de Kalaât Landelous (Túnez)**

Con el objetivo de ocupar tierras saladas, se puede usar cultivos alternativos como Aloe vera, una planta con valores terapéuticos y económicos importantes. La experimentación se hizo bajo condiciones naturales en la región de Kalaât Landelous sobre un suelo hidromórfico fuertemente salino, con una capa freática superficial y salada. El riego estival de los plantones de Aloe vera por las aguas usadas tratadas y el bajo contenido en ETM en estas aguas no hacen aparecer un real efecto de la irrigación con estas aguas sobre los plantones. Sin embargo, se notó un pequeño crecimiento de la parte foliar, debido probablemente a la dominancia de los iones Na⁺ en comparación con K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en estos órganos.

Palabras clave

Aloe vera, elementos minerales, ETM, Kalaât Landelous, suelo salino.

La salinisation joue un rôle majeur dans la dégradation des sols (Nemoto et Sasakuma, 2001) et elle menace à court terme une partie non négligeable des superficies cultivables du globe. Ce phénomène correspond à l'accumulation excessive des sels très solubles dans la partie superficielle des sols ce qui se traduit par une diminution de la fertilité des sols. En Tunisie, les sols affectés par la salinité couvrent environ 1,5 millions d'hectares, soit à peu près 10 % de la surface de pays. On les rencontre dans l'ensemble du territoire mais c'est surtout dans le Centre et le Sud que l'aridité du climat cause leur extension (Hachicha, 2007). Les risques de salinisation se font sentir principalement dans les zones caractérisées par une faible pluviométrie et une forte évaporation, une eau d'irrigation rare et salée, une nappe phréatique peu profonde et salée et une texture fine du sol (Hachicha *et al.*, 1997).

Suite à l'augmentation de la teneur en sel des sols, l'eau est de moins en moins mobilisable pour les plantes. Ces dernières, sièges de nombreuses fonctions physiologiques et métaboliques, se trouvent confrontées à des situations de stress osmotique et nutritionnel affectant la croissance, le développement et le rendement des plantes (Karray *et al.*, 2009 ; Daas-Ghrib *et al.*, 2011). Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les végétaux: la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions (Haouala *et al.*, 2007). En Tunisie, la réhabilitation des sols salés est très coûteuse et parfois techniquement impossible. Cette réhabilitation a été souvent réalisée avec l'utilisation des cultures fourragères ou maraîchères. Les plantes médicinales et cosmétiques interviennent dans la stratégie de valoriser ces sols. L'*Aloe vera*, une xérophyte avec un métabolisme acide crassulacéen (CAM), est appréciée pour sa courte période de croissance et sa valeur économique (Jin *et al.*, 2007).

Outre le problème de la salinité, la Tunisie souffre autant de l'insuffisance des pluies que de leur mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace. Les contraintes du climat, la croissance démographique et les transformations économiques et sociales sont à l'origine d'une demande en eau sans cesse croissante. Face à ces demandes, les ressources en eau sont rares et insuffisantes. Ainsi, pour satisfaire l'ensemble des besoins en eau du pays et afin de réserver les eaux de bonne qualité à l'alimentation en eau potable, on est contraint d'utiliser des eaux de qualité marginale en agriculture (Braudeau *et al.*, 2001).

Ce travail est une contribution dans l'étude de la tolérance d'*Aloe vera* à des conditions de salinité excessive qui caractérisent le sol de Kalaât Landelous.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Présentation et aménagement de la parcelle expérimentale

L'expérimentation a été conduite dans une parcelle de la région de Kalaât Landelous située dans la Basse Vallée de la Mejerda à 35 km au Nord de Tunis. C'est une plaine alluviale caractérisée par un bioclimat méditerranéen semi-aride supérieur. Le régime thermique se caractérise par un hiver doux et tempéré et un été chaud et sec. Les vents les plus forts soufflent du Nord-Ouest en hiver et du Sud-Est en été. La pluviométrie moyenne annuelle est de 470 mm avec de fortes irrégularités intra et inter-annuelles. Le déficit hydrique climatique annuel est d'environ 900 mm. L'apport d'eau pluviale en hiver entraîne la submersion temporaire du terrain. Le réseau hydrographique est constitué de l'Oued Mejerda et de ses anciens lits. Les sols peu évolués d'apport fluvial sont formés de matériaux argilo-limoneux fins déposés par la Mejerda. On distingue des sols avec des caractéristiques de salinité et de sodicité (Hachicha *et al.*, 1997). La salinisation est causée par la présence d'une nappe phréatique salée dont l'écoulement latéral est rendu difficile par la faible altitude par rapport au niveau de la mer et aussi par la forme géomorphologique qui est monotone et à très faible pente.

La parcelle d'étude est de 60 m de long et 40 m de large. Elle a été aménagée, au cours du mois de juillet 2008, sur des terres salines et hydromorphes, ce qui a nécessité un nivellement et une élévation des terres de 1 m au-dessus de la surface du sol (aménagement en ados). Le sol de la parcelle d'étude est argilo-limoneux, fortement calcaire (> 50%) et pauvre en matière organique (MO) (< 1%).

La parcelle a été équipée d'un système d'irrigation enterré à une profondeur de 20 cm pour déboucher en goutteur au niveau de chaque plant. Dans le but de suivre la variation des diverses caractéristiques de la nappe (profondeur, salinité), la parcelle a été munie de cinq piézomètres à 2 m de profondeur par rapport à la surface du sol.

Plantation

En mars 2010, des rejets d'*Aloe vera* ont été plantés sur 3 ados. Chaque ados comporte 20 plants soit au total 60 plants. En attendant les pluies hivernales, des irrigations par les eaux usées traitées (EUT) ainsi que des suivis sur les plants, le sol, l'eau de la nappe et l'eau d'irrigation ont été réalisés. A chaque fois que des fortes pluies hivernales sont enregistrées, l'eau stagne au niveau de la parcelle expérimentale jusqu'au mois d'avril.

Suivis et analyses sur les eaux et le sol

pH et salinité des eaux: Des échantillons des EUT et des eaux de la nappe ont été prélevés avant et à la fin de chaque

Tableau 1 - Caractérisation des eaux d'irrigation.**Table 1** - The irrigation water characterization.

| Paramètres | pH | CE (dS/m) | Anions (méq/l) | | | Cations (méq/l) | | | |
|------------|------|-----------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|
| | | | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Na ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ |
| NB. | 15 | 15 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Moy. | 7,90 | 4,66 | 30,76 | 17,39 | 5,68 | 31,46 | 8,22 | 10,67 | 3,48 |
| Max. | 8,7 | 5,23 | 35,36 | 26,79 | 7,52 | 50,81 | 10,1 | 15,99 | 5,62 |
| Min. | 6,64 | 3,34 | 17,91 | 12 | 3,46 | 14,67 | 7,13 | 7,33 | 1,62 |
| Méd. | 7,95 | 4,81 | 31,42 | 15,92 | 5,62 | 32,32 | 7,99 | 10,04 | 3,58 |
| C.V% | 7,07 | 10,79 | 27,59 | 28,70 | 25,90 | 41,63 | 12,29 | 30,07 | 41,63 |

Tableau 2 - Composition en ETM des eaux d'irrigation.**Table 2** - ETM contents in irrigation water.

| ETM (mg/l) | Co | Cu | Fe | Mn | Ni | Pb | Zn |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| NB. | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Moy. | 0,03 | 0,02 | 0,39 | 0,04 | 0,04 | 0,12 | 0,09 |
| Max. | 0,05 | 0,05 | 0,84 | 0,06 | 0,12 | 0,24 | 0,20 |
| Min. | 0,02 | 0,01 | 0,15 | 0,03 | 0,03 | 0,07 | 0,02 |
| Médiane | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,11 | 0,08 |
| C.V (%) | 27,04 | 37,33 | 58,54 | 20,16 | 71,67 | 50,61 | 65,24 |
| NT 106.03 | 0,1 | 0,5 | 5 | 0,5 | 0,2 | 1 | 5 |

cycle d'irrigation. Des suivis du pH et de la conductivité électrique (CE) ont été réalisés.

Humidité et salinité du sol: Les échantillons de sols sont pesés pour déterminer leur poids humide (PH), séchés dans l'étuve et leur poids sec (PS) est noté. L'humidité du sol (%) est déterminée en utilisant la relation: Humidité (%) = $100 * [PH - (PS - Tare)] / (PS - Tare)$.

La salinité du sol est représentée par la conductivité de l'extrait de la pâte saturée (CEe). Elle est déterminée à partir de la conductivité de l'extrait aqueux (CE 1/5). En effet, une corrélation significative a permis de convertir la CE 1/5 en CEe.

$$CEe = 5,94 * CE\ 1/5; (n = 36, R^2 = 0,865).$$

Suivis et analyses sur les plants d'*Aloe vera*

Lors de notre expérimentation, la mortalité des plants et la croissance foliaire (nombre et longueur) ont été suivies depuis mars 2010. Chaque feuille est comptée lorsque la longueur est d'environ 4 cm. En mai 2012, 4 plants d'*Aloe vera* ont été récoltés dans chaque ados soit au total 12 plants. Dans le but d'effectuer des analyses minérales et celle des ETM, les feuilles et les racines ont été rincées avec de l'eau distillée, séchées à 50 °C et broyées.

Dosage des éléments minéraux et des ETM

La composition minérale (Na, K, Ca et Mg) et les ETM (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn et Cd) ont été déterminés par spectrophotométrie de flamme en émission (Jenway, PFP7) et par spectrométrie d'absorption atomique (Perkin Elmer). Les chlorures ont été dosés par colorimétrie à l'aide d'un colorimètre (Büchler).

Analyse statistique

L'ensemble des mesures a fait l'objet d'une analyse de la variance et de la comparaison des moyennes par le test de Student ($\alpha = 0,05$).

RÉSULTATS

Caractérisation des eaux d'irrigation (EUT)

Depuis leur plantation en mars 2010, les plants d'*Aloe vera* ont été irrigués deux étés successifs: 2010 et 2011. Les doses étaient assez régulières de l'ordre de 30 mm et les fréquences

Tableau 3 - Variations de la profondeur, du pH, de la salinité et de la composition minérale des eaux de la nappe (juin 2009 - mai 2012).
Table 3 - Variations of the depth, pH, salinity and mineral composition of the groundwater (June 2009 - May 2012).

| Paramètres | Profondeur (cm) | pH | CE (dS/m) | Anions (méq/l) | | | Cations (méq/l) | | | |
|------------|-----------------|------|-----------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|
| | | | | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Na ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ |
| NB. | 18 | 18 | 18 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Moy. | 74,00 | 6,71 | 96,50 | 1471,76 | 54,53 | 1,86 | 939,51 | 171,08 | 407,74 | 1,10 |
| Max. | 110,10 | 7,40 | 107,45 | 1517,07 | 89,02 | 2,16 | 1080,26 | 205,75 | 573,25 | 1,26 |
| Min. | 30,20 | 6,30 | 68,76 | 1400,00 | 27,11 | 1,38 | 831,59 | 140,25 | 285,00 | 0,97 |
| Méd. | 77,20 | 6,71 | 101,80 | 1466,75 | 41,67 | 1,85 | 862,67 | 175,10 | 431,65 | 1,01 |
| C.V % | 32,30 | 4,30 | 11,10 | 2,90 | 49,31 | 14,09 | 10,51 | 11,82 | 30,73 | 10,54 |

Tableau 4 - Variation du pH, de l'humidité, de la salinité et de la composition ionique dans les différentes couches du sol de la parcelle de Kalaât Landelous aménagée en ados.
Table 4 - Variations of the pH, moisture, salinity and ionic composition of the Kalaât Landelous soil.

| Profondeur (cm) | pH | Humidité % | CEe (dS/m) | Anions (méq/l) | | | Cations (méq/l) | | | |
|-----------------|------|------------|------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|
| | | | | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ |
| 0 - 30 | 7,93 | 16,08 | 8,97 | 69,28 | 20,83 | 1,62 | 10,85 | 12,77 | 2,81 | 79,13 |
| 30 - 60 | 8,08 | 22,31 | 14,65 | 121,64 | 30,45 | 1,27 | 19,59 | 22,19 | 3,84 | 122,79 |
| 60 - 90 | 8,6 | 24,72 | 17,41 | 139,86 | 58,49 | 1,48 | 30,19 | 28,26 | 3,84 | 142,12 |
| 90 - 120 | 8,16 | 24,26 | 19,87 | 166,18 | 52,88 | 1,16 | 34,31 | 29,63 | 3,33 | 161,45 |

étaient également assez régulières, environ tous les 3 jours. L'eau d'irrigation provenant de la station d'épuration présente un pH basique moyen de 7,90 (6,6 - 9,0) (*tableau 1*). Cette eau est moyennement salée et de conductivité électrique (CE) moyenne égale à 4,65 dS/m. Le CV a révélé une variation faible du pH et modérée de la salinité. Concernant la composition anionique, elle est dominée par Cl⁻ et la composition cationique est dominée par Na⁺.

Au niveau de leur composition en ETM, les EUT de la station de Kalaât Landelous sont, pour les éléments analysés (Cu, Mn, Fe, Zn, Co, Pb et Ni), généralement conformes à la Norme Tunisienne de la Réutilisation des EUT (NT 106.03). Les éléments Co, Cu et Mn ont un CV compris entre 10 et 50 %, présentant ainsi une variation modérée. Pour les autres, le CV est supérieur à 50 %, indiquant une variation très forte (*tableau 2*).

Caractérisation de la nappe

En été, la nappe s'éloigne de la surface et sa profondeur est à 110 cm de la surface (*tableau 3*). Pendant la saison pluvieuse, elle s'approche de la surface; elle n'est qu'à 30 cm de profondeur. Ces eaux ont un pH neutre, en moyenne de 6,7 (allant de 6,3 à 7,4). La salinité moyenne est de 96,50 dS/m. La plus forte

conductivité électrique est de 107,4 dS/m et la plus faible est de 68,7 dS/m (*tableau 3*). Les eaux de la nappe sont caractérisées par une forte teneur en sels solubles dont la somme des anions et celles des cations dépassent 1500 méq/l. Leur composition anionique est largement dominée par Cl⁻ et leur composition cationique est largement dominée par Na⁺. Les CV faibles (0 % < CV < 10 %) à moyens (10 % < CV < 50 %) indiquent une variation faible à modérée de la composition chimique des eaux de la nappe.

Caractérisation du sol

Le pH du sol a été déterminé sur les ados (*tableau 4*). Il est basique de moyenne 8 variant entre 7,8 et 8,6. L'humidité du sol est variable selon la profondeur; la teneur en eau est de 16 à 24 %, plus élevée en profondeur qu'en surface. Ceci est dû à la proximité de la nappe d'eau. La salinité du sol est de 9 dS/m au niveau de la couche superficielle et atteint environ 20 dS/m au niveau de la couche la plus profonde. La composition anionique est à Cl⁻ dominant et la composition cationique est à Na⁺ dominant. Les cations et les anions sont plus concentrés en profondeur qu'en surface (*tableau 4*).

Tableau 5 - Evolution de la mortalité et de la croissance foliaire (nombre et longueur des feuilles) chez l'*Aloe vera* (mars 2010 - mai 2012). Les valeurs sont les moyennes des mesures effectuées sur les plants vivants \pm SE.

Table 5 - Plants mortality and leaf growth (March 2010 - May 2012).

| | Date | | | |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Mars 2010 | Mars 2011 | Juillet 2011 | Mai 2012 |
| Mortalité des plants (%) | 0,00 | 1,60 | 8,33 | 11,66 |
| Nombre des feuilles | 9,16 \pm 2,97 | 10,17 \pm 3,75 | 10,73 \pm 3,30 | 11,70 \pm 4,05 |
| Longueur des feuilles (cm) | 18,39 \pm 4,50 | 20,33 \pm 6,39 | 23,82 \pm 9,47 | 24,92 \pm 6,65 |

Tableau 6 - Composition en éléments minéraux des racines et des feuilles d'*Aloe vera* planté à Kalaât Landelous et irrigué par des EUT. Les valeurs sont les moyennes de 12 plants \pm SE.

Table 6 - Mineral composition in the roots and leaves of *Aloe vera* planted in Kalaât Landelous and irrigated with a treated wastewater. Data represents means of 12 plants \pm SE.

| | Elément (%) | | | | K ⁺ /Na ⁺ | K ⁺ /Na ⁺ |
|---------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | | |
| Feuille | 4,24 \pm 0,01 | 1,71 \pm 0,10 | 1,48 \pm 0,06 | 0,58 \pm 0,04 | 0,41 \pm 0,09 | 0,41 \pm 0,09 |
| Racine | 2,03 \pm 0,12 | 1,15 \pm 0,04 | 1,57 \pm 0,11 | 0,70 \pm 0,13 | 0,56 \pm 0,01 | 0,56 \pm 0,01 |

Comportement d'*Aloe vera*

Mortalité et paramètres de croissance

La mortalité des plants d'*Aloe vera* et la croissance foliaire ont été suivies depuis mars 2010 jusqu'à mai 2012 (tableau 5). Pendant cette période de suivi, en plus du changement de la couleur des feuilles devenues rosâtres, nous avons noté une mortalité au sein des plants d'*Aloe*. En mai 2012, 7 plants ont montré un assèchement de toutes leurs feuilles parmi les 60 plantés au début de l'expérimentation. De plus, les plants restants n'ont pas montré une poussée importante de nouvelles feuilles. En effet, le nombre de feuilles n'a augmenté que de 3 feuilles/plant après environ 2 ans de suivi (tableau 5) d'où un rendement de 640 feuilles à la récolte contre un rendement de 540 feuilles lors de la plantation. La longueur foliaire a été aussi mesurée et elle n'a augmenté que d'environ 6,35 cm entre mars 2010 et mai 2012 (tableau 5). Les feuilles avaient une longueur moyenne de 18,4 cm au début de l'expérimentation et 24,9 cm à sa fin.

Composition en éléments minéraux des tissus d'*Aloe vera*

L'analyse minérale a concerné les feuilles et les racines d'*Aloe* et a montré une dominance de Na⁺ par rapport aux K⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺ (tableau 6). En effet, la teneur en Na⁺ représente 52 % de la teneur totale en ces éléments dans les feuilles et 37 % dans les racines et cet élément est localisé préférentiellement dans les tissus foliaires. De même pour le K⁺, sa teneur est plus importante dans la partie charnue des plants d'*Aloe*. Concernant le Ca²⁺ et le

Mg²⁺, les analyses n'ont pas montré de différences significatives entre les teneurs en ces éléments dans les feuilles et les racines. Le rapport K⁺/Na⁺ ne montre pas de différence significative entre les deux organes étudiés contrairement au rapport Ca²⁺/Na⁺, qui est plus important au niveau des racines que des feuilles.

Composition en ETM des tissus d'*Aloe vera*

Les analyses relatives à la composition en ETM des tissus d'*Aloe vera* (tableau 7) n'ont pas montré de variations importantes entre les feuilles et les racines (excepté pour le fer). Toutefois, ces teneurs restent inférieures aux valeurs mentionnées par Adriano *et al.* (2001) et Kabata-Pendias (2000).

DISCUSSION

L'*Aloe vera* a été cultivé à Kalaât Landelous et irrigué par des EUT de pH basique, moyennement saline. Au niveau de leur composition en ETM, les EUT sont généralement conformes à la Norme Tunisienne de la Réutilisation de ces eaux (NT 106.03). La parcelle de Kalaât Landelous est caractérisée par une nappe de profondeur variable selon la saison et de salinité excessive (68,7 dS/m < CE < 107,4 dS/m). Dans le but de s'éloigner (i) de la zone de stagnation des eaux pendant la saison pluvieuse et (ii) de la nappe très proche et très saline, un aménagement de la parcelle en ados a été réalisé. Cependant, ce nivellement du sol n'a pas assuré une baisse importante de la salinité. En effet, la CEE du sol reste élevée au niveau des ados (9 dS/m < CEE < 20 dS/m) avec une forte dominance de Na⁺ et Cl⁻.

Tableau 7 - Composition en ETM (mg/l) des racines et des feuilles d'*Aloe vera* plantés à Kalaât Landelous et irrigués par des EUT. Les valeurs sont les moyennes de 12 plants \pm SE.

Table 7 - ETM contents (mg/l) in the roots and leaves of *Aloe vera* planted in Kalaât Landelous and irrigated with a treated wastewater. Data represent means of 12 plants \pm SE.

| | Co | Cr | Cu | Fe | Mn | Ni | Pb | Zn | Cd |
|---|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Feuille | 0,297 \pm 0,06 | 0,41 \pm 0,08 | 3,13 \pm 0,26 | 139,60 \pm 1,30 | 7,36 \pm 0,28 | 1,37 \pm 0,52 | 0,342 \pm 0,05 | 13,30 \pm 0,74 | 0,32 \pm 0,03 |
| Racine | 0,31 \pm 0,02 | 0,38 \pm 0,05 | 2,25 \pm 0,51 | 198 \pm 7,21 | 7,88 \pm 0,79 | 1,15 \pm 0,06 | 0,363 \pm 0,01 | 11,22 \pm 1,97 | 0,268 \pm 0,02 |
| Adriano <i>et al.</i> (2001) et Kabata-Pendias (2000) | 0,02-0,5 | 0,1-0,5 | 3,0-12 | 50-200 | 20-400 | 0,2-2 | 0,1-0,5 | 20-200 | 0,05-0,5 |

Malgré ces conditions de salinité excessive, 53 plants d'*Aloe vera* ont pu survivre parmi les 60 plants cultivés. Cependant, les plants restants ont montré un changement de la couleur et une non variation de la croissance de leurs feuilles, organes de valeur économique, après 2 ans de suivi. Plusieurs travaux ont étudié les effets du sel sur les paramètres de croissance chez plusieurs espèces végétales. Ainsi, il a été observé une réduction de la longueur, du nombre des feuilles, des matières fraîches et sèches, de la ramification et du diamètre (Haouala *et al.* 2007 ; Karray-Bourouai, 2010, Daas-Ghrib, 2011). Dans notre étude, la faible croissance foliaire pourrait avoir comme origine une toxicité par les ions Na^+ dont l'analyse minérale a révélé une dominance de ces ions dans les tissus d'*Aloe* par rapport aux K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} et une localisation plus importante dans les feuilles que les racines. L'accumulation de Na^+ semble se dérouler suite à une compartimentation de cet ion toxique au sein de la vacuole: une des stratégies que les plantes utilisent pour faire face à la salinité. En effet, grâce au processus de compartimentation de Na^+ au sein de la vacuole, la cellule parvient à maintenir une faible concentration de cet ion dans le cytoplasme, minimisant ainsi son effet toxique; et d'autre part, l'augmentation concomitante de la concentration de Na^+ dans la vacuole va engendrer une forte pression osmotique qui va favoriser l'absorption d'eau et donc améliorer la turgescence des cellules (Apse and Blumwald, 2007). Cependant, il a été signalé que le Na^+ est un élément essentiel pour les plantes C4 et CAM (Ohnishi *et al.*, 1990). En effet, ces plantes utilisent le phosphoénolpyruvate (PEP) pour fixer le carbone atmosphérique lors de la photosynthèse et le Na^+ est nécessaire pour la régénération du PEP à partir du pyruvate.

Dans notre étude, quel que soit l'organe, les rapports K^+/Na^+ et $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ sont largement inférieurs à 1. K^+ est l'un des éléments essentiels pour la plante. En tant que cation inorganique le plus abondant dans le cytoplasme (100 - 200 mM) (Higinbotham, 1973), il est impliqué dans des fonctions cellulaires essentielles. Outre son rôle dans la neutralisation de la charge électrique nette des bio-molécules, il participe au contrôle de la polarisation de

la membrane plasmique et au contrôle du potentiel osmotique et de la pression de turgescence (Walker *et al.*, 1996). L'absorption du K^+ varie en fonction de la salinité: il augmente en présence de faible dose de Na^+ , diminue et peut même s'arrêter avec les fortes doses (Houala *et al.*, 2007, Daas-Ghrib *et al.*, 2011). Concernant le Ca^{2+} , il a été démontré que c'est une molécule signal impliquée dans la régulation de plusieurs processus physiologiques en réponse au stress abiotique et limitant l'entrée de Na^+ dans les cellules (Kader et Lindberg, 2010; Hussain *et al.*, 2010).

Le régime réduit des irrigations (irrigations estivales) et la faible teneur en ETM des EUT ne semblent pas laisser paraître un réel effet de l'irrigation par ces eaux sur les plants d'*Aloe*. En effet, les teneurs de la majorité des éléments analysés (Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn et Cd) sont dans les intervalles mentionnés par Adriano *et al.* (2001) et Kabata-Pendias (2000).

CONCLUSION

Cultivé sur un sol salin hydromorphe et irrigué par des EUT pendant l'été, l'*Aloe vera*, une plante CAM reconnue par sa forte adaptation à la sécheresse, a pu résister aux conditions du stress régnant dans la parcelle de Kalaât Landelous. En effet, environ 2 ans après sa plantation, l'*Aloe vera* survit encore mais avec une faible croissance de ses feuilles. Toutefois, l'importance économique et thérapeutique de l'*Aloe vera* plante réside dans ses feuilles renfermant un gel très riche en substances actives telles que l'aloésin, l'isoaloésin D et l'aloïn A (Ishii *et al.*, 1990). La richesse des feuilles en ces substances actives est en forte relation avec la croissance de la partie aérienne de cette plante (Gupta *et al.*, 2012). Des études supplémentaires focalisées sur la composition biochimique du gel de cette plante sont envisagées dans le but d'acquérir plus de connaissances sur l'intérêt de l'occupation des sols salins par cette culture.

REMERCIEMENTS

Le travail s'inscrit dans le projet national PISEAU II «Valorisation agricole des EUT et des boues » et le projet régional arabe INRGREF/ASCAD/ICBA « Utilisation saine des EUT dans les pays arabes ».

BIBLIOGRAPHIE

- Adriano D.C., 2001 - Trace elements in terrestrial Environments, Bioavailability, and Risks of Metals. 2nd Edition, Springer Verlag, pp. 879.
- Apse M.P. et Blumwald E., 2007 - Na⁺ transport in plants. *FEBS Letters* 581, pp. 2247-2254.
- Braudeau E., Loukil A., Zidi C., Derouiche C., Niang M., Hachicha M., Belouchette H., Decluseau D. et Mtimet A., 2001 - Le Sirs-Sols du périmètre irrigué de Cébala (Basse vallée de la Mejerda, Tunisie). Un système d'information pédologique spécialisé pour la modélisation agronomique. In P. Garin, P.Y. Le Gal, Th. Ruf (Eds). La gestion des périmètres irrigués collectifs à l'aube du XXI^e siècle, enjeux, problèmes, démarches. Montpellier, France. pp. 225-245.
- Daas-Ghrib C., Gharbi F., Kchaou R., Rejeb S., Hanchi B. et Rejeb M.N., 2011 - Salinité et nutrition minérale chez deux espèces d'Eucalyptus. *Euro. J. Sci. Res.* 55, 2, pp. 315-320.
- Gupta M, Kiran s, Gulati A, Singh B, Tewari R. 2012 - Isolation and identification of phosphate solubilizing bacteria able to enhance the growth and aloin-A biosynthesis of Aloe barbadensis Miller. *Microbio. Res.* 167, pp. 358– 363.
- Hachicha M., M'Hiri A., Bouksila F. et Bach Hamba I., 1997 - Variabilité et répartition de l'argile et de la salinité dans le périmètre de Kalaât Landelous (Tunisie). Application à l'évaluation des risques de salinisation. *Etude et Gestion des Sols*, 4 (1), pp. 53-66.
- Hachicha M., 2007 - Les sols salés et leur mise en valeur en Tunisie. *Sécheresse* 18, 1, pp. 45-50.
- Haouala F., Ferjani H. et Ben El Hadj S., 2007 - Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 11, 3, pp. 235-240.
- Hussain K., Nisar M.F., Majeed A., Nawaz K., Bhatti K.H., Afghan S., Shahazad A. et Zia-ul-Hassnian S., 2010 - What molecular mechanism is adapted by plants during salt stress tolerance? *Afri. J. Biotechnol.*, 9, pp. 416-422.
- Ishii Y., Tanizawa H. et Takino Y. 1990 - Studies of aloe III Mechanism of cathartic effect, (2). *Chem. Pharm. Bull.*, 38, pp.197-200.
- Jin Z., Wang C., Liu Z et Gong W., 2007 - Physiological and ecological characters studies on *Aloe vera* under soil salinity and sea water irrigation. *Process Bioch.*, 42, pp. 710-714.
- Kabata-Pendias A., 2000 - Trace elements in Soils and Plants (3rd ed.) CRC Press, Boca Raton, Fl, 413 p.
- Kader M.A. et Lindberg S., 2010- Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress. *Plant Sig. Behav*, 5, pp. 233-238.
- Karray N., Harbaoui F., Attia H., Msilini N., Rebhi M., Lachaal M., 2009 - Effet du sel sur la croissance, les teneurs ioniques et les enzymes antioxydantes chez le carthame. *Annales de l'INRGREF*, pp. 1439-1444.
- Karray-Bourraoui N., Hayfa Hamrouni-Maâzoul H., Rabhi M., Harbaoui F., Attia H., Oueslati S., Ksouri R. et Lachaal, M. 2010 - Enzymatic and non-enzymatic antioxidant responses of two *Mentha pulegium* provenances to salt stress. *J. Med. Plant Res.*, 4, 23, pp. 2518-2524.
- Nemoto Y. et Sasakuma T., 2002 - Differential stress responses of early salt-stress responding genes in common wheat. *Phytochemistry*, 61, pp. 129-133.
- Ohnishi J.I., Flugge U.I., Heldt H.W. et Kanai R., 1990 - Involvement of Na⁺ in active uptake of pyruvate in mesophyll chloroplasts of some C4 plants. *Plant Physiol.*, 94, pp. 950-959.