

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Amar TELIDJI Laghouat

Faculté des Sciences

Département d'Agronomie

جامعة عمار ثليجي - الأغواط -

كلية العلوم

قسم العلوم الفلاحية



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Agronomie

Option : Amélioration des plantes et biotechnologie

Thème

Recherche d'une corrélation entre les paramètres morphologiques et physiologiques chez une plante steppique (*Retama raetam* Forssk.), cultivée sous différentes doses de NaCl.

présenté par: Mlle RAHMOUNI Zahia

Encadré par : Mme MALLEM Hamida (Maître-assistant A)

Président : Rouighi Taher (Maître-assistant A)

Examineur : Saridi Abdelkader (Maître-assistant A)

JUIN 2017

Nom : Rahmouni

Prénom : Zahia

Titre : Recherche d'une corrélation entre les paramètres morphologiques et physiologiques chez une plante steppique (*Retama raetam* Forssk.), cultivée sous différentes doses de NaCl.

La salinité menace les régions arides , la plantation des plantes tolérantes a la salinité permet de récupérer les parcours menacés .Cette étude a pour objectif d'étudier l'effet de la salinité sur les paramètres morphologiques et physiologiques d'une plante steppique fixatrice de sable « *Retama raetam* » cultivée sur un sol limoneux argileux, nous avons visé précisément à rechercher d'éventuelles corrélations entre ces paramètres et de déterminer le seuil de tolérance de cette plante vis-à-vis de la salinité. Nous avons mis en évidence l'influence des différentes doses de sels (34, 68 , 102 , 136, 170 mMole/l de NaCl), sur la vitesse de croissance, le nombre de feuilles, la hauteur finale, le poids frais et sec total des plants, le taux de la proline , de sodium de potassium et le taux de la chlorophylle. Les résultats obtenus ont montré qu'il y a une diminution des paramètres morphologiques avec l'augmentation des concentrations de sel (NaCl) dans l'eau d'irrigation, une augmentation du taux de sodium et une diminution du taux de la chlorophylle et de potassium et une accumulation de la proline. Des corrélations ont été observées entre quelques paramètres étudiés.

Nous notons que le meilleur résultat obtenu a été celui de la dose (102 mMole /l) de NaCl, alors que les concentrations de (136 et 170 mMole/l) de NaCl ont été néfastes pour la plante.

Mots clés : salinité, *Retama raetam*, NaCl, proline, sodium.

Title: Search for a correlation between morphological and physiological parameters in a steppe plant (*Retama raetam* Forssk.), Grown under different doses of NaCl.

Salinity threatens arid regions, the planting of tolerant plants to salinity makes it possible to recover the threatened pathways. This study aims to study the effect of salinity on the morphological and physiological parameters of a steppe plant fixing sand "*Retama raetam*" grown on loam clayey soil, we aimed specifically to seek correlations between these parameters and to determine the tolerance threshold of this plant with respect to salinity. We showed the influence of different salt doses (34, 68, 102, 136, 170 mMole / l NaCl) on growth rate, number of leaves, final height, fresh and dry weight of the plants, the rate of proline, sodium potassium and chlorophyll. The results obtained showed that there was a decrease in morphological parameters with increasing salt concentrations (NaCl) in the irrigation water, an increase in the sodium content and a decrease in the level of chlorophyll and potassium and an accumulation of proline. Correlations were observed between some of the parameters studied.

We note that the best result obtained was that of the dose (102 mMole / l) of NaCl, whereas the concentrations of (136 and 170 mMole / l) NaCl were harmful for the plant.

Key words: salinity, *Retama raetam*, NaCl, proline, sodium.

الاسم : زهية

اللقب : رحموني

العنوان : البحث عن وجود علاقة بين الخصائص المورفولوجية والفيزيولوجية لنبات الرتم السهبي تحت تأثير جرعات مختلفة من ملح كلور الصوديوم.

تهدد الملوحة العالية المناطق الجافة, وبزراعة النباتات التي تتحمل الملوحة يمكن اعادة تأهيل هذه المناطق المتدهورة. وتهدف هذه الدراسة إلى دراسة تأثير الملوحة على الخصائص المورفولوجية و الفسيولوجية على النبات السهبي الرتم *Retama raetam* «*raetam*» المثبت للرمال المزروع في التربة الطينية الغرينية، لقد قمنا على وجه الخصوص بتحديد العلاقة الموجودة بين هذه الخصائص وتحديد مدى تسامح هذه النبتة مع الملوحة. ولقد أظهرنا تأثير جرعات مختلفة من الأملاح (34، 68، 102، 136، 170 مليمول كلوريد الصوديوم)، على معدل النمو، وعدد الأوراق، والارتفاع النهائي، الوزن الطازج والجاف النباتات الكاملة، و معدل البرولين والصوديوم والبوتاسيوم ونسبة الكلوروفيل. ولقد أظهرت النتائج أن انخفاض في الخصائص المورفولوجية مع زيادة تركيزات الملح (كلوريد الصوديوم) في مياه الري، وزيادة مستويات الصوديوم وانخفاض في مستويات الكلوروفيل والبوتاسيوم وتراكم البرولين وقد لوحظ على علاقة بين بعض الخصائص التي شملتها الدراسة. ونلاحظ أن أفضل نتيجة حصل عليها هي من الجرعة (102 مليمول / لتر) من كلوريد الصوديوم، في حين كانت تركيزات (136 و 170 مليمول / لتر) من كلوريد الصوديوم ضارة لهذه النبتة.

كلمات البحث: الملوحة، «*Retama raetam*»، كلوريد الصوديوم، البرولين، والصوديوم .

REMERCEMENT

الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا ان هدانا الله

Avant toute chose, je remercie Dieu, le tout puissant, pour m'avoir donnée la force et la patience.

Au terme de ce modeste travail, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Particulièrement, je voudrais adresser mes remerciements les plus sincères et ma profonde gratitude à mon encadreur Mme Mellam Hamida, pour m'avoir pris si aimablement par des discussions encourageantes et profitables, pour son appui et pour tout son aide afin de réaliser ce travail.

Mes remerciements s'adressent au Mr Rouigi. T de m'avoir accordé l'honneur de présider le jury de ma soutenance. Que Mr Saridi. A soit également remercié pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer mon travail. Ces remarques me seront fort enrichissantes.

J'exprime aussi ma profonde gratitude et reconnaissance pas exception à toute mes honorables enseignants du département d'Agronomie de l'université Ammar Telidji pour la qualité de l'enseignement et leur aimablement tout au long de ma formation au cycle de Master.

J'agréable d'exprimer mes remerciement à tous mes amis et mes collègues de Master APB qui nous a aidé pour le bon achèvement de ce travail.

J'exprime également mon sincère remerciement à Mlle Renane.Z et Mme Taibi.H des ingénieurs du laboratoire d'Agronomie et Mme Mebarka et Mr Mohamed des ingénieurs du laboratoire de chimie du l'université de Ammar Telidj pour nous guidés et encouragés tout au long de ce travail, nous les remercie vivement pour leurs soutien.

Afin je ne peux pas oublier l'aide morale, les sacrifices et les encouragements en particulier mes chers parents, source de tendresse et de courage, et à mes beaux-frères, mes belles-sœurs.

Au risque de me répéter, j'exprime mes vifs remerciements à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de cette mémoire.



Dédicace :

Aux être Les Plus Chers à Mon Cœur, Mes Parents.

Mes Frères et Mes Sœurs.

A toute mes collèges de Master APB

(AMINA.S, SAADIA, SAHLA, AMINA.T, LAILA, NAIMA,

AMINE, MOHAMED, RIDHA, CHOUIB, KARIM).

A tous mes Amis FATIMA, ZINEB.

A toute mes honorables Enseignants.

A toute Ma Famille.

Et Tous Qui Aiment Zahia.

Rahmouni Zahia.

Liste des tableaux

Tableau 01: Extension globale de la salinisation secondaire dans le monde. Superficie en million d'hectares.	3
Tableau 2 : Degré de salinité exprimé en valeurs de la conductivité électrique à 25°C.	6
Tableau 03 : Les différents sels et le degré de risque sur les plantes et les sols.	8
Tableau 04 : Moyenne des températures de la serre enregistrées par décade.	22
Tableau 05 : Caractéristiques physico-chimiques du substrat.	24
Tableau 06 : Teneurs des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de robinet de Laghouat en (mg/l) et (meq/l).	26
Tableau 07 : Les Caractéristiques chimiques des traitements.	27
Tableau 08 : Concentration des solutions filles pour dosage du sodium.	32
Tableau 09 : Concentration des solutions filles pour dosage du potassium.	32

Liste des figures

Figure 01 : Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes inclusif ou Exclusif	10
Figure 02 : Production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité.	11
Figure 03 : Carte géographique de la répartition des retames en Algérie.	16
Figure 04 : Aspect générale du <i>Retama raetam</i> (photo originale).	17
Figure 05 : Fleurs et feuilles de <i>Retama raetam</i> (photo originale).	17
Figure 06 : (A) et (B) les Fruits, gousses de <i>Retama raetam</i> (photo originale).	18
Figure 07 : Les graines de <i>Retama raetam</i> photo originale.	21
Figure 08 : Les conteneurs utilisés dans l'expérimentation (photo originale).	23
Figure 09 : Schéma du dispositif expérimental en randomisation totale.	25
Figure 10 : Les étapes de la prégermination des grains (Photo originale).	28
Figure 11 : Mesure de la hauteur des plants (photo originale).	29
Figure 12 : Flacon de conservation de la poudre végétale (photo originale).	33
Figure 13 : un spectrophotomètre à flamme (photo originale).	34
Figure 14 : La vitesse de croissance des plants durant 60 jours de culture (cm/j).	35
Figure 15 : Aspect des plantes à (60jours) photo originale.	36

Figure 16 : Hauteur finale des plants (cm).	37
Figures 17 : Nombre des feuilles par plant.	38
Figure 18 : Poids frais et sec total des plants (g).	39
Figure 19: Poids frais et sec des racines des plants de retame (g).	41
Figure 20: Teneur en chlorophylle totale des plants de retame sous stress salin.	42
Figure 21 : Teneur en proline dans les feuilles de retame sous stress salin.	44
Figure 22 : La teneur de sodium en % (MS) des feuilles de retame sous stress salin.	45
Figure 23 : La teneur de potassium en % (MS) des feuilles de retame sous les doses de NaCl.	47
Figure 24 : Droite de corrélation positive entre la teneur en proline et le poids sec des feuilles (p=0.015).	49
Figure 25 : Droite de corrélation positive entre la teneur en sodium des feuilles et le poids sec des feuilles (p=0.024).	49
Figure 26 : Droite de corrélation positive entre la teneur en proline et la teneur en sodium (P=0.038).	50
Figure 27 : Courbe étalon du dosage de Sodium.	64
Figure 28 : Courbe étalon du dosage de Potassium.	64
Figure 29 : Le rapport de K^+/Na^+ dans les feuilles de <i>Retama raetamen</i> fonction des doses de NaCl.	65

Liste des abréviations

µg/ml : microgramme par millilitre.

µs/cm : microsiemens par centimètre.

APx : Enzyme de défense (ascorbate peroxydase).

CE : Conductivité électrique.

CEC : Capacité d'échange cationique.

DO : la densité optique.

ESP : Le taux de sodium échangeable.

meq/l : Milliéquivalent par litre.

MF : matière fraîche.

mg/l : Milligramme par litre

mmhos/cm : millimhos par centimètre

mMole/l : milliMole par litre

MS : matière sèche.

ms/cm : Milli siemens par centimètre

n : le nombre de chromosome.

nm : nanomètre.

PFF : Poids frais des feuilles.

PFR : Poids frais des racines.

PFT : Poids frais des tiges.

PFTOT : Poids frais total.

PSF : Poids sec des feuilles.

PSR : Poids sec des racines.

PST : Poids sec des tiges.

PSTOT : Poids sec total.

PVC : Chlorure de polyvinyle.

RS : Le résidu sec.

SAR : absorption du sodium.

TABLES DES MATIERES

Résumé	I
Dédicaces	II
Remerciements	III
Liste des tableaux	IV
Liste des figures	V
Liste abréviations	VI
Introduction	1
Partie I : Recherche bibliographique	3
Chapitre I : la salinité	3
I.1 - La salinisation des sols	3
I.1.1 - Définition de la salinité	3
I.1.2 - La salinité dans le monde et en Algérie	3
I.1.3 - Définition de sols salés (sols halomorphes)	4
I.1.4 - Origine des sols salés	5
I.1.4.1 - Salinité primaire	5
I.1.4.2 - Salinité secondaire	5
I.1.5 - Les propriétés des sols salés	5
a) La conductivité électrique (C.E)	5
b) Le pH	6
c) Le taux de sodium échangeable (ESP)	6
d) La sodicité (SAR): (Sodium Adsorbtion Radio)	6
e) Le résidu sec (RS)	7
I.1.6 - Mouvement des sels dans le sol	7
I.2 - Salinité des eaux	7
I.2.1 - Caractérisation de l'eau salée	7

I.3 - La salinité et la plante	8
I.3.1 - Définition du stress salin et ses conséquences	8
I.3.2 - Nature de l'effet du sel sur les plantes	8
I.3.2.1 - Le stress hydrique	9
I.3.2.2 - Le stress ionique	9
I.3.2.3 - Le stress nutritionnel	9
I.3.3 - Tolérance des plantes à la salinité	9
I.3.3.1 - Les halophytes	9
I.3.3.1.1 - Halophytes de type inclusif (inclure)	10
I.3.3.1.2 - Halophytes de type exclusif (exclure)	10
I.3.3.2 - Les glycophytes	11
I.3.4 - les actions des sels sur la plante	12
I.3.4.1 - L'action des sels sur la germination	12
I.3.4.2 - L'action des sels sur les phénomènes physiologiques	12
I.3.4.3 - L'action des sels sur l'eau dans la plante	12
I.3.4.4 - L'action des sels sur la photosynthèse	12
I.3.4.5 - L'action biochimique des sels sur la concentration en proline	13
I.3.4.6 - L'action des sels sur le taux des ions	13
I.3.5 - Méthodes de lutte contre la salinité	13
I.3.5.1 - Le lessivage	13
I.3.5.2 - Le drainage	14
I.3.5.3 - L'utilisation de La phytoremédiation	14
I.3.5.4 - Les engrais liquides	15
II – Chapitre II : Généralités sur <i>Retama raetam</i>	16
II.1 - Distribution géographique des Rétames	16

II.2 - Description botanique	17
II.3 - Description Génétique et caryologie	19
II.4 - Importances de <i>Retama raetam</i>	19
II.4.1 - Intérêt écologique	19
II.4.2 - Intérêt pharmacologique	20
II.4.3 - Intérêt industriel et économique	20
Partie II : Etude expérimentale	21
Chapitre I : Matériel et Méthodes	21
I.1 - Objectif de l'expérimentation	21
I.2 - Matériel végétal	21
I.2.1 - Description des graines	21
I. 3 - Conditions expérimentales	22
I. 3.1 - Lieu de l'expérimentation	22
I.3.2 - Containers	22
I.3.3 - Le substrat	23
I.4 - Dispositif expérimental	24
I.5 - Description des différents traitements	26
I.5.1 - Caractéristiques de l'eau utilisée pour la préparation des différents traitements	26
I.5.2 - Caractéristiques des différents traitements	27
I.6 - Pré germination	27
I.7 - Repiquage des germes	28
I.8 - Irrigation	28
I. 9 - Paramètres mesurés	28
I.9.1 - Paramètres morphologiques	29
a. Mesure de la hauteur des plants (cm)	29

b. Vitesse de croissance	29
c. Nombre des feuilles	29
d. Biomasse fraîche (g)	29
e. Biomasse sèche (g)	29
I.9.2 - Paramètres physiologiques	30
a. Dosage de la chlorophylle	30
c. Dosage de la proline	30
I.10 - Analyse minérale	32
I.10 .1 – Préparation des solutions étalons	32
I.10.2 - Préparation des échantillons	33
1.10.3 - Technique de la minéralisation sèche	33
I. 11 - Analyse statistique	34
Chapitre II : Résultats et discussions	35
II.1 - Paramètres morphologiques	
II.1.1 - Vitesse de la croissance des plants (cm/j)	35
II.1.2 - Hauteurs finales des plants (cm)	36
II.1.3 - Nombre des feuilles par plant	38
II.1.4 - Poids frais et sec total (tige + feuille) (g)	39
II.1.5 - Poids frais et sec des racines (g)	41
II.2 - Paramètres physiologiques	42
II.2.1 - Quantité de la chlorophylle (mg/g MF)	42
II.2.2 - Quantité de la proline ($\mu\text{g/g}$ MF)	44
II.3 - Bilan minéral du sodium et du potassium	45
II.3.1 - Teneur en sodium	45

II.3.2 - Teneur en potassium	47
II.4 – Résultats d’analyses des corrélations entres les paramètres étudiés	48
Conclusion	51
Référence bibliographique	53
ANNEXE	64

Introduction

La salinisation est le processus majeur de la dégradation des terres. En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables par minute, dont 3 hectares à cause de la salinisation. 10 à 15% des surfaces irriguées (20 à 30 millions d'hectares) souffrent, à des degrés divers, de problèmes de salinisation (Mermoud, 2006). L'Algérie se situe parmi les pays touchés, plus d'un million d'hectares de la surface sont salins (FAO, 1974).

D'après Vinocur et Altman (2005), 50% des terres labourables seront cibles de salinisation vers l'an 2050.

Dans les écosystèmes arides et semi arides, La salinité résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol (Munns et *al.*, 2005) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie (Mezni et *al.*, 2002). Le fort ensoleillement et la faible pluviométrie font accumuler les sels dissous, en surface. Ces accumulations transforment profondément les propriétés physiques et chimiques du sol, avec pour conséquence principale, un milieu qui devient « non productif » voir « stérile » (Masters et *al.*, 2007).

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 espionne des sols des zones arides et semi-arides (Baba, 2010). Des surfaces cultivables très importantes dans ces zones sont exposées à une désertification continue, d'où une menace pour l'équilibre alimentaire de ces régions (Baba, 2010).

De ce fait, ces changements imposent la réflexion sur les stratégies à entreprendre pour comprendre les mécanismes mis en jeu par les plantes afin de s'adapter aux nouvelles conditions de l'environnement et de maintenir leur croissance et leur productivité par l'introduction des espèces tolérantes au stress salin est l'une des techniques utilisées pour faire face à ce problème (Belkhodja et Bidai, 2004; Trinchant *et al.*, 2004).

Parmi les espèces steppiques naturelles, reconnu comme espèces qui poussent même sur des sols salin ; le retame : *Retama raetam*. C'est une plante spontanée, qui est en voie de devenir une espèce cultivée, de la famille de Fabacée, ligneuse très répandue en Algérie. Elle est utilisée pour l'alimentation humaine et animale, surtout dans les régions à climat aride et semi-aride, elle est caractérisée par sa physiologie bien adaptée aux conditions

xérophytiques, sa régénération naturelle rapide, son aptitude à se développer dans des sols carencés en éléments nutritifs elle améliore la fertilité des sols grâce à l'azote fixé symbiotiquement (FAO, 1988). Elles constituent un outil efficace et relativement peu coûteux dans la lutte contre l'érosion, et très bonne fixatrice des sables du désert, surtout en zones steppiques (Essafi et *al.*, 2007).

La caractérisation physiologique de la tolérance des végétaux à la salinité résulte des processus qui permettent au végétal d'absorber l'eau et les sels minéraux à partir de substrats à faibles potentiels hydriques, mais aussi de vivre en acceptant la présence importante de sels dans ses tissus (Guerrier, 1984).

De nombreuses études ont montré que la tolérance au stress salin est associée au fonctionnement intégré de l'organisme. Notre travail a porté sur l'analyse de l'effet de différentes concentrations de NaCl (1,4 g/l ; 2 g/l ; 4 g/l ; 6 g/l ; 8 g/l ; 10 g/l) sur la physiologie et la morphologie de *Retama raetam* afin de préciser leurs limites de tolérance à la salinité et aussi d'étudier sa tendance à l'halophilie, ceci par l'étude de quelques paramètres morphologiques et physiologiques.

Notre mémoire est structuré en deux parties :

La 1ère partie : une synthèse bibliographique qui comporte :

Le chapitre 1 sur la salinité.

Le chapitre 2 sur *Retama raetam*.

La 2ème partie : une étude expérimentale qui comporte :

Le chapitre 1 matériel et méthodes.

Le chapitre 2 résultats et discussions.

Et enfin une conclusion et perspective.

Chapitre I : la salinité

I.1 - La salinisation des sols

La salinisation des sols est un phénomène qui vient suite à l'accumulation des sels à la surface du sol et dans la partie racinaire, ce qui cause des grands dégâts sur les végétaux ainsi que sur le sol lui-même (stérilisation) (Aloui, 2011).

I.1.1 - Définition de la salinité

La salinité est définie comme étant le processus pédologique suivant; le sol s'enrichit anormalement en sels solubles acquérant ainsi le caractère salin (Heller et *al.*, 2004).

I.1.2 - La salinité dans le monde et en Algérie

La F.A.O (2005) estime que 7 % des terres agricoles dans le monde (920 millions d'hectares) sont affectées par les sels solubles, et plus de 27 % des terres irriguées sont confrontées au problème de la salinité Tableau 01 (Levigneron et *al.*, 1995 ; Wilson et *al.*, 2000).

Tableau 01: Extension globale de la salinisation secondaire dans le monde. Superficie en million d'hectares (Ghassemi et *al.*, 1995).

Continent	Salinité légère	Salinité modérée	Salinité forte	Salinité extrême	Total
Afrique	4.7	7.7	2.4	-	14.8
Asie	26.8	8.5	17.0	0.4	52.7
Amérique	2.1	1.8	0.5	0	4.4
Europe	1.0	2.3	0.5	0	3.8
Australie	-	0.5	-	0.4	0.9
Total	34.6	20.8	20.4	0.8	76.6

Ce tableau montre que globalement, de 76.6 Millions d'hectares de terres sont affectées par la salinisation secondaire dans le monde, dont 52.7 Millions d'hectares (69%) en Asie, 14.8 Millions d'hectares (19%) en Afrique et 3.8 Millions d'hectares (5%) en Europe.

La salinité se rencontre en de nombreuses zones arides et semi arides du bassin méditerranéen (Drevon et *al.*, 2001). en Algérie, les facteurs qui contribuent à l'extension du phénomène de salinisation des terres sont liés à l'aridité du climat qui porte sur plus de 95% du territoire, la qualité médiocre des eaux d'irrigation, le système de drainage souvent inexistant ou non fonctionnel, et la conduite empirique des irrigations. (Daoud et Halitim, 1994 ; Saidi, 2004).

L'Algérie compte plus d'un Million d'hectares de terres salées localisées essentiellement le long de la frontière Algéro-Marocaine sous la forme de pseudo-sables disposés à la surface du sol. Ces sols salés sont également très fréquents dans les basses plaines de l'Oranie, la plaine de la Mina (Relizane), le Sud de Sétif et de Constantine et dans les régions sahariennes (FAO, 1974).

Selon Drouhin (1961), la salure des sols Algériens est la plus souvent d'origine sédimentaire ou deux types de salure peuvent être reconnus :

La salure de la région tellienne (plaines sub-littorales) et des hautes plaines steppiques ou l'élément toxique est constitué essentiellement par le chlorure de Sodium (NaCl) ou le chlorure de magnésium (Mg Cl_2) ou l'association de ces deux composés. Ils constituent « Le Salant Blanc ».

La salure des vallées et des dépressions sahariennes ou le climat est chaud, favorisent l'apparition du carbonate de soude « salant noir » dont la toxicité est redoutable.

I.1.3 - Définition de sols salés (sols halomorphes)

On appelle sols salés ceux qui sont caractérisés par la présence d'un excès de l'ion sodium échangeable dans le profil. Les sols salins sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Ils sont là où l'évaporation excède les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire, ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eaux marines) (Girard et *al.*, 2005).

I.1.4 - Origine des sols salés

La salinisation peut être d'origine naturelle (l'altération des roches ou à des apports naturels externes) c'est ce qu'on appelle « **la salinisation primaire** » ou d'origine Anthropique due à l'activité humaine liée aux pratiques agricoles (irrigation, engrais...) appelée « **la salinisation secondaire** » (Nouha, 2012).

I.1.4.1 - Salinité primaire

La salinisation primaire se produit naturellement là où la roche mère du sol est riche en sels solubles ou bien lorsqu'on est en présence d'une nappe phréatique proche de la surface ou encore par intrusion de l'eau de mer. Dans les régions arides et semi arides, où les précipitations sont insuffisantes pour lixivier les sels solubles du sol et où le drainage est restreint, des sols salins vont se former avec des concentrations élevées de sels (Lahlou *et al.*, 2000).

I.1.4.2 - Salinité secondaire

La salinisation secondaire se produit lorsque des quantités significatives d'eau chargée de sels sont apportées par irrigation. Sans réseau de drainage adéquat pour la lixiviation et l'élimination des sels, ces apports entraînent une augmentation de la teneur en sels des sols, ce qui diminue leur productivité. Un apport d'engrais minéraux important sur de longues périodes peut aussi être source d'une salinisation secondaire (Lahlou *et al.*, 2000).

I.1.5 - Les propriétés des sols salés

Ils sont caractérisés par l'existence des sels solubles et surtout de sodium échangeable en quantité importante qui leur donne des caractéristiques biologiques, chimiques et physiques nuisibles au développement des plantes (Henin *et al.*, 1970 ; Carter *et al.*, 1986). On se base sur certains paramètres pour classer ces sols et qui sont :

a) La conductivité électrique (C.E)

Selon Aubert (1980), La conductivité électrique est l'ensemble des sels totaux solubles de la solution du sol évaluée à partir de l'extrait de pate saturée ou de l'extrait dilué au 1/5,

exprimée en décisiemens par mètre (ds/m) ou milimohs par cm soit mmhos/cm à 25°C (Tableau 02).

Tableau 2 : Degré de salinité exprimé en valeurs de la conductivité électrique à 25°C.

C.E à 25°C	Degré de la salinité
< 2.5 mmhos/cm	Sol non salé
2.4 mmhos/cm	Faiblement salé
4.8 mmhos/cm	Moyennement salé
8.16 mmhos/cm	Fortement salé
> mmhos/cm	Excessivement salé

Source : (FAO, 1984 in Kalakhi, 2005).

b) Le pH

D'une façon global les sols salés ont un pH supérieure à 7, il peut parfois atteindre des valeurs supérieures à 8.5 (Henin et *al.*, 1970) ceci est dû au fait que les hydroxydes sont plus prépondérants que les ions hydrogènes.

c) Le taux de sodium échangeable (ESP)

C'est le pourcentage de Na⁺ échangeable contenu dans le sol (Derkaoui, 2011) ; L'ESP est calculée par la formule suivante : $ESP = Na^+ / CE * 100$, le sodium échangeable peut détruire la structure du sol à partir d'un seuil fixé à 15% de la CEC (Boukhatem, 1988).

d) La sodicité (SAR): (Sodium Adsorbtion Radio)

Le SAR est le pouvoir alcalinisant de solution du sol ou il représente le taux de sodium absorbé par rapport aux deux cations bivalents Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺, évalué comme suit :

$$SAR = Na * 0.5 / \sqrt{(Ca + Mg) / 2}$$

Avec : Na⁺, Mg⁺⁺ et Ca⁺⁺ en méq/l.

D'après la FAO (1984) in Benrabah (1990), l'alcalinisation est estimée par les SAR suivantes :

< 4 : Pas d'alcalinisation.

4.8 : Faible alcalinisation.

8.12 : Alcalinisation moyenne.

< 12 : Alcalinisation forte.

e) Le résidu sec (RS)

Il exprime la totalité des sels solubles, selon Omrani (1993) cité par Hachemi (2003). Le résidu sec est donné par la relation suivante :

$$RS = 0.6 \times CE$$

- Sol très salin : RS entre 0.4 et 0.5%.
- Sol moyennement salin : RS entre 0.2 et 0.3%.
- Sol non salin : RS < 0.1%.

I.1.6 - Mouvement des sels dans le sol

Sous l'action de divers processus, les sels solubles sont mobiles se déplacent dans le sol (Durand, 1983), en fait les plus solubles sont les plus mobiles. Cette mobilité caractérise chaque élément et se définit comme suite : $Na < K < Mg < Ca < Al$ (Soltner, 1990).

I.2 - Salinité des eaux

L'eau d'irrigation peut saliniser les sols si elle a une teneur excessive en ions solubles, ou si elle est mal appliquée (Herrero, 1992), le contrôle permanent des risques de l'irrigation régulière des sols en zones arides et semi-arides est indispensable en agriculture (Meddahi et al., 1993).

I.2.1 - Caractérisation de l'eau salée

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont des sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), de potassium (K^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-) (Couture, 2006).

I.3 - La salinité et la plante

I.3.1 - Définition du stress salin et ses conséquences




La salinisation d'un sol représente l'augmentation de sa teneur en sel. Les sols affectés par les sels, sont caractérisés par une pression osmotique élevée ce qui empêche la plante d'absorber l'eau et les éléments nutritifs, c'est ce qu'on appelle la "**sécheresse physiologique**". De plus, ils présentent une structure asphyxiante et dans les cas extrêmes, ils deviennent carrément stériles et incultes (Nouha, 2012).

I.3.2 - Nature de l'effet du sel sur les plantes

Certains sels sont plus solubles que d'autres, c'est pourquoi les divers cations et anions, issus de sels différents, ne présentent pas le même risque sur le mécanisme de développement des plantes (Tableau 03).

Tableau 03 : Les différents sels et le degré de risque sur les plantes et les sols (Anonyme 5, 2006 ; in Nouha, 2012).

		Anions			
		Chlorure (Cl ⁻)	Sulfate (SO ₄ ⁻²)	Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	Carbonate (CO ₃ ⁻²)
Cations	Sodium (Na ⁺)	Na Cl	Na ₂ SO ₄	NaHCO ₃	Na ₂ CO ₃
	Magnésium (Mg ⁺²)	Mg Cl ₂	MgSO ₄	(Mg(HCO ₃)) ₂	MgCO ₃
	Calcium (Ca ⁺²)	CaCl ₂	CaSO ₄	Ca(HCO ₃) ₂	CaCO ₃

-  Degré de risque élevé.
-  Degré de risque moyen.
-  Degré de risque faible.

Les conséquences d'un stress salin peuvent résulter de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes :

I.3.2.1 - Le stress hydrique

Une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique adapté, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire et à celui du sol. Ce phénomène assure d'une part, la poursuite de l'absorption de l'eau du sol, et d'autre part, la rétention de l'eau intracellulaire et le maintien de la turgescence. Lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules, ce qui provoque un déficit hydrique et la perte de la turgescence (Baba, 2010).

I.3.2.2 - Le stress ionique

En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique (Baba, 2010).

I.3.2.3 - Le stress nutritionnel

Des concentrations salines trop fortes dans le milieu, provoquent une altération de la nutrition minérale, en particulier vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires. Le sodium entre en compétition avec le potassium et le calcium, et le chlorure avec le nitrate, le phosphore et le sulfate (Baba, 2010).

I.3.3 - Tolérance des plantes à la salinité

Selon leur réponse au stress salin, les plantes sont classées en deux types :

- Les halophytes.
- les glycophytes.

I.3.3.1 - Les halophytes

Ce sont les plantes capables de se développer et de croître sous un régime salin de 300mM de NaCl (Tester et Davenport, 2008). Ces plantes sont capables d'accumuler le sodium dans leurs matières foliaires à des concentrations élevées et de le stocker dans les vacuoles, ce comportement est une méthode d'adaptation utilisé par ce type de plante (Flowers et *al.*, 1977). Levigneron *et al.*, (1995) classe ce type de plante, selon le mécanisme de la remontée du sel dans la plante.

I.3.3.1.1 - Halophytes de type inclusif (include)

Au niveau de ces plantes, le sel est capté au niveau des racines et transféré jusqu'aux feuilles à travers la sève. Ce sel sera alors stocker dans les vacuoles des cellules foliaires et reste isolé (Levigneron *et al.*, 1995 ; Levitt, 1980) figure 01.

I.3.3.1.2 - Halophytes de type exclusif (exclude)

Ce type de plante possède un mécanisme qui empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. En effet, une première barrière existe au niveau de l'endoderme des cellules de la racine, et si cette barrière a été interrompue, d'autres mécanismes existent pour empêcher l'arrivée du sodium aux feuilles (Levigneron *et al.*, 1995 ; Levitt, 1980) figure 01.

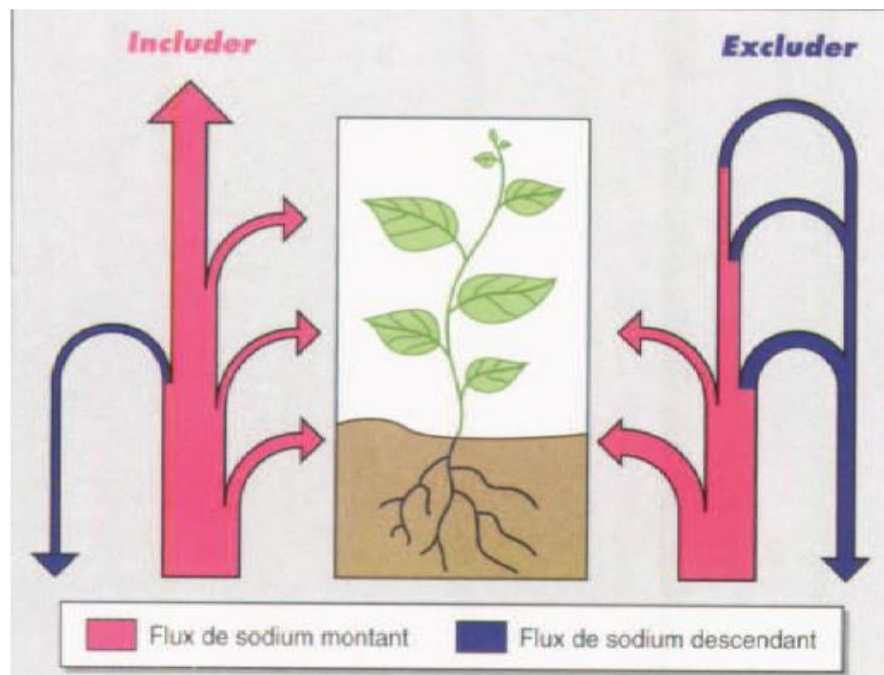


Figure 01 : Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes inclusif ou exclusif (Levigneron *et al.*, 1995).

Chez les plantes de types inclusifs, les flux de sodium sont essentiellement ascendants (en rose) et le sel est accumulé dans les parties aériennes. Chez celles de type exclusif, la plus grande partie du sodium véhiculé vers les feuilles est réexporté vers les racines via le phloème (en bleu). Les intensités relatives des flux sont symbolisées par la largeur des traits.

I.3.3.2 - Les glycophytes

Les glycophytes sont des plantes incapables de survivre dans un milieu très salin mais ils utilisent parfois quelques méthodes des plantes halophytes inclure ou exclure, selon les génotypes, pour survivre dans un milieu au stress salin (Chinnusamy et *al.*, 2005 ; Yokoi et *al.*, 2002).

Toutes les plantes ne sont pas égales face au stress salin, suivant leur production de biomasse en présence de sel, quatre grandes tendances ont été discernées (Figure 02) :

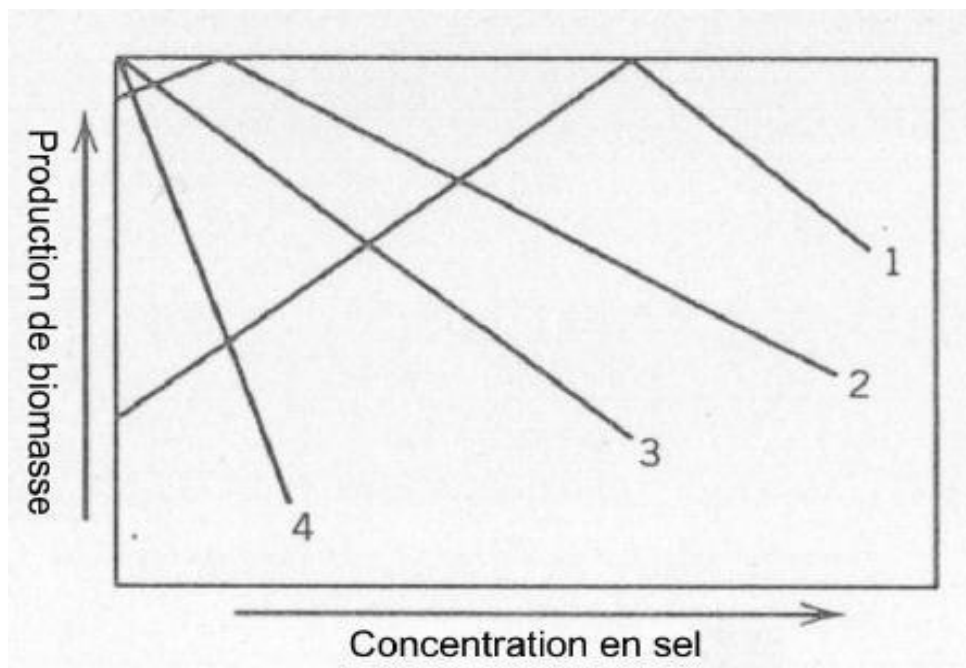


Figure 02 : Production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité.

(1): Halophytes vraies (2): Halophytes facultatives (3): Non halophytes résistants
(4): Glycophytes (D'après Hagemeyer, 1996 cité par Calu, 2006).

- **Halophyte vraies:** dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sel.
- **Halophytes facultatives:** présentent une légère augmentation de biomasse à des teneurs faibles en sels.
- **Non halophytes résistants:** supportent de faibles concentrations en sels.
- **Glycophytes :** sensibles à la présence de sels.

I.3.4 - les actions des sels sur la plante

I.3.4.1 - L'action des sels sur la germination

La germination des graines est le stade le plus sensible aux stress salin (Boulghalagh, 2006). La germination des semences est aussi affectée par la présence des sels; elle est en général retardée et peut même ne pas se produire du tout (Phocaidès, 2008).

I.3.4.2 - L'action des sels sur les phénomènes physiologiques

Hôuchi (1986), note que la salinité peut inhiber la photosynthèse à différents niveaux des voies métaboliques. Hamzà (1982) a observé la réduction de toutes les dimensions de la plante telles que :

- Le faible allongement des organes et leurs ramifications ;
- La diminution de la surface foliaire ;
- Le raccourcissement des entre nœuds des tiges.

Ceci montre que l'effet principal des sels se situe au niveau de la croissance cellulaire.

I.3.4.3 - L'action des sels sur l'eau dans la plante

Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes diminuent et deviennent de plus en plus négatif avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence (Aloui, 2011).

I.3.4.4 - L'action des sels sur la photosynthèse

La photosynthèse est l'une des voies biochimiques plus importantes par lequel les plantes préparent leur matière alimentaire propre et se développe.

La salinité tout comme la sécheresse ont pour conséquence de réduire la photosynthèse nette par la réduction des échanges gazeux mais aussi de l'activité photochimique (Eastman; Camm 1995, Orcutt; Nilsen 2000, Godde 1999, Ortega et *al.*, 2004).

La diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs : (1) la déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO₂, (2) la toxicité du sel, (3) la réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture hydroactive des stomates, (4) la sénescence accrue induite par la salinité et (5) le

changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique. (Iyengar et Reddy, 1996 in Panda et Das, 2005).

Le stress salin inhibe la photosynthèse par la réduction du potentiel hydrique. Dans ce cas, le principal but de la tolérance à la salinité est d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau en conditions salines (Cushman et *al.*, 1989 in Panda et Das, 2005).

I.3.4.5 - L'action biochimique des sels sur la concentration en proline

La proline représente l'une des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques. Elle peut être utilisée comme un marqueur pour évaluer la tolérance au stress salin surtout chez les halophytes (Belkhodja et *al.*, 2008).

I.3.4.6 - L'action des sels sur le taux des ions

L'absorption des hautes concentrations de NaCl engendre une compétition avec l'absorption d'autres ions, spécialement le K^+ , ce qui conduit à une déficience en K^+ .

Le traitement accru de NaCl induit une augmentation dans le taux du Na^+ et Cl^- et une diminution dans le taux du Ca^{2+} , K^+ et le Mg^{2+} chez de nombreuses plantes.

La salinité fait augmenter le contenu de Na^+ , Ca^{2+} et Cl^- chez *Vicia faba* et le rapport K^+/Na^+ diminue (Gadallah, 1999 in Haouala et *al.*, 2007).

Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (Levigneron et *al.*, 1995 in Haouala et *al.*, 2007).

L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} , Mg^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique (Haouala et *al.*, 2007).

I.3.5 - Méthodes de lutte contre la salinité

L'adaptation à la salinité peut être améliorée par les techniques agronomiques notamment par une fertilisation adéquate (Satti et *al.*, 1994).

I.3.5.1 - Le lessivage

Le meilleur moyen de contrôler la salinité du sol est le lessivage pour maintenir un bilan des sels favorables dans le profil des sols irrigués c'est-à-dire tendre vers une irrigation efficace avec un lessivage adéquat et minimal, afin de minimiser la pollution du site

(nappes phréatiques) (Daoud et Halitim ,1994).

Selon les même auteurs, le but recherché, c'est d'améliorer la disponibilité de l'eau du sol pour la culture en :

- Irriguer plus fréquemment pour améliorer l'approvisionnement hydrique de la culture.
- Choisir des cultures tolérantes à une salinité existante ou éventuelles.
- Appliquer régulièrement un supplément d'eau pour satisfaire le besoin de ce lessivage.
- Changer de méthodes d'irrigation, en adoptant une méthode permettre de mieux lutter contre le sel.

I.3.5.2 - Le drainage

Selon Lacharme (2001), la principale méthode la plus adaptée pour lutter contre la salinité est la réalisation de systèmes de drainage adaptés pour permettre :

- Un rabattement de la nappe phréatique en dessous d'une côte telle que les remontées capillaires soient très limitées.
- La création de flux souterrain permettant d'évacuer les sels en excès hors de la parcelle.
- De couper les flux souterrains d'eau chargée en sels.

I.3.5.3 - L'utilisation de La phytoremédiation

L'idée d'utiliser des plantes pour extraire les métaux lourds et leurs composantes fut introduite en 1983 bien que le principe soit connu depuis 300 ans. C'est dans les années 1990 que le concept de la remédiation (bio et phytoremédiation) émerge comme une nouvelle technologie qui utilise les plantes vertes et des microorganismes associés (bactéries, champignons) pour le nettoyage d'un environnement pollué. (Aoun, 2009).

Plusieurs études ont identifié des espèces végétales hyperaccumulatrices, principalement des halophytes très prometteuses pour le dessalement des sols salins.

Cette capacité de dessalement a été principalement estimée par des mesures effectuées en sols salins et des expérimentations consistant à cultiver des halophytes sur sol salin et à établir le bilan de l'exportation du sel par ces plantes. La comparaison de la salure des sols en début et à la fin de l'expérimentation a également montré l'aptitude des halophytes à extraire une quantité appréciable de sel (Abdelly, 2006).

I.3.5.4 - Les engrais liquides

Hors des choix des espèces tolérantes à la salinité, il paraît nécessaire d'utiliser la fertilisation par des solutions liquides pour intervenir en cas de stress salin.

Par exemple, le produit FERTIACTYL est un engrais minéral sous forme liquide qui est appliqué à l'eau d'irrigation, il est fabriqué exclusivement à partir de produits d'origine végétale. C'est un fertilisant biologique et Bio stimulant métabolique naturel pour le sol et la plante (Medane, 2001).

II – Chapitre II : Généralités sur *Retama raetam*

II.1 - Distribution géographique des Rétames

Les Rétames sont des légumineuses arbustives, occupant les zones arides, semi-arides et côtières, qualifiées de plantes fixatrices de dunes, leur nom dérive du nom biblique (ROTEM) qui fut changé par les arabes en (R'tem) ou (retam) (Zohary, 1962).

Retama raetam est fréquente dans le Nord et l'Est de la méditerranée et de la péninsule du Sinaï (Boulos, 1999 ; Mittler et al., 2001) .

En Algérie (Figure 03), les Rétames occupent une surface considérable du Nord vers le Sud (Thomas, 1968), généralement localisé dans le Sud oranais, Sud de Djelfa, Ain Safra, Touggourt, au centre de la Kabylie, à l'Est de Biskra et à Ouargla (Allal-benfakih, 2006). En Algérie le genre *Retama* compte trois espèces :

- *Retama monosperma*,
- *Retama sphaerocarpa*
- *Retama raetam*

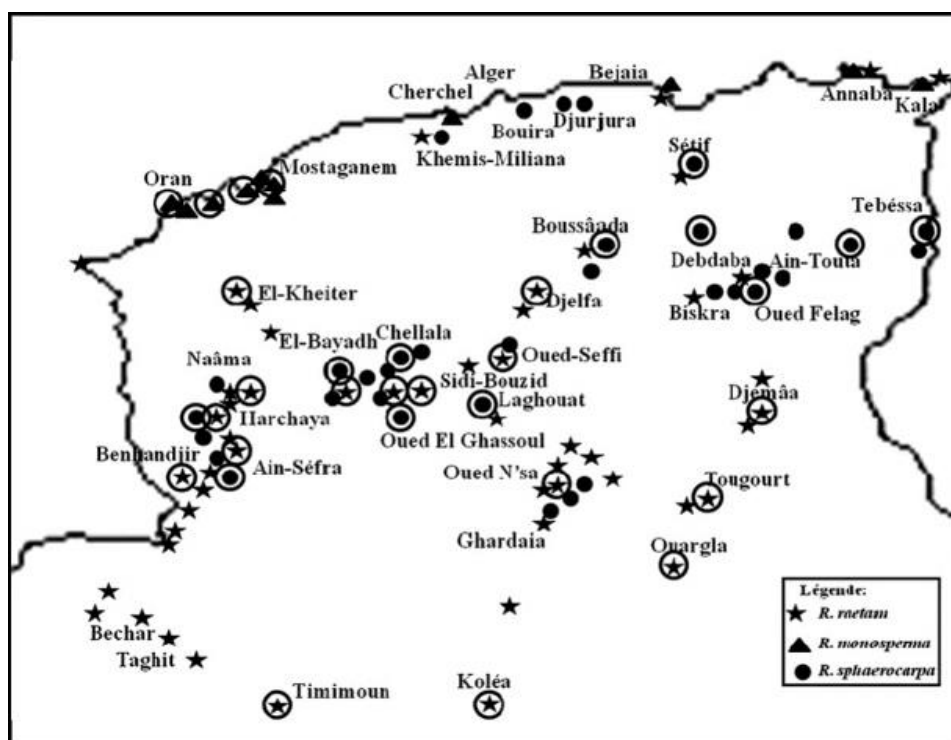


Figure 03 : Carte géographique de la répartition des retames en Algérie.

II.2 - Description botanique

Retama raetam est un arbuste saharien de 1 à 3,5 m de hauteur (figure 04). Le système racinaire est de type pivotant pouvant atteindre plusieurs mètres de profondeur. Des racines adventives sont également présentes sur les rameaux et colonisent la surface des dunes. Les rameaux sont veloutés. Les feuilles sont très caduques, celles inférieures sont trifoliées, les supérieures sont simples et unifoliées. Elles sont minuscules alternes et linéaires, qui ne demeurent en place que quelques jours.

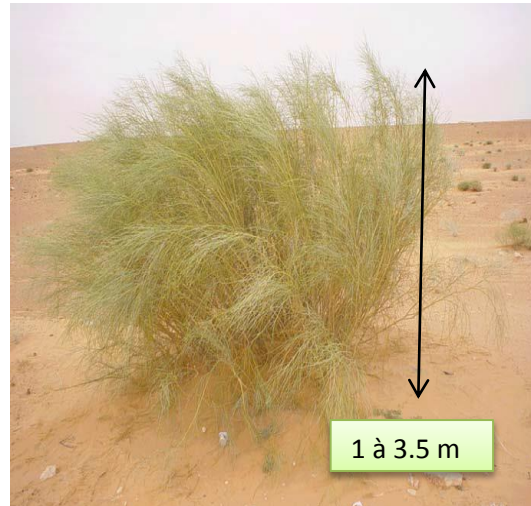


Figure 04 : Aspect générale du *Retama raetam* (photo originale).

Les fleurs sont blanches de 8 à 10mm, avec un étendard égalant la carène ou plus long (figure 05). La floraison commence en mois d'Avril au Mai (Maghrani et *al.*, 2003).



Figure 05 : Fleurs et feuilles de *Retama raetam* (photo originale).

Le fruit est une étroite gousse indéhissante de moins de 2 cm (figure 06), acuminées, avec une extrémité aigue, portant une à deux graines (Quezel et Santa, 1962). Les graines

de *Retama raetam* apparaissent sous forme ovoïde, lisses de couleur brun jaune, et d'une taille allant de 5 à 8 (mm).

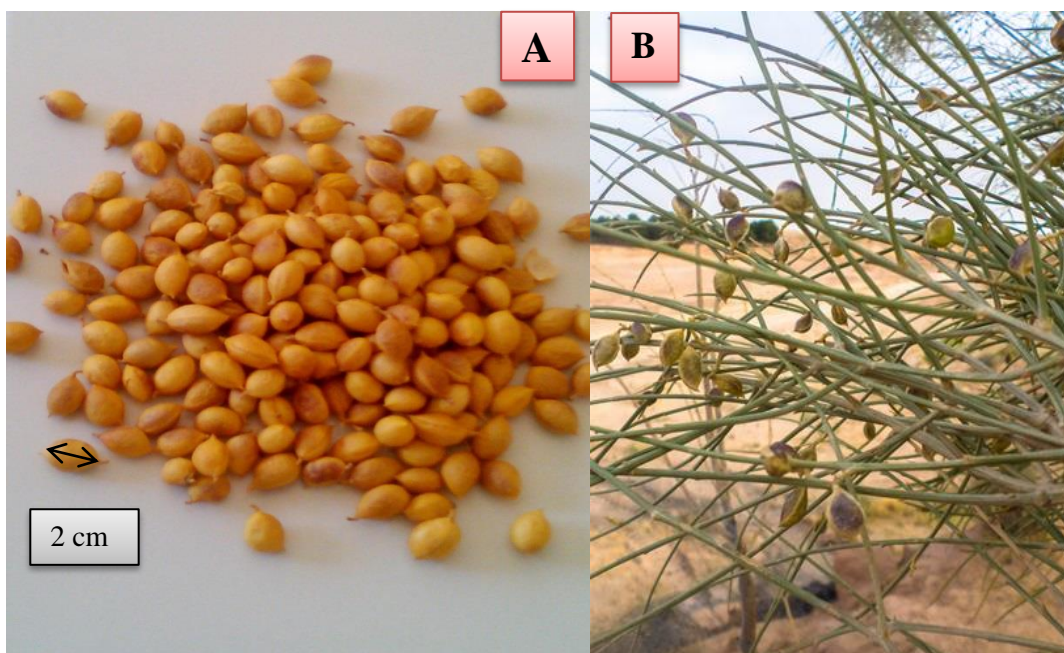


Figure 06 : (A) et (B) les Fruits, gousses de *Retama raetam* (photo originale).

Les rétames ont une grande capacité symbiotique, leurs racines se terminent par de petits renflements qu'on appelle nodules ou nodosités, Les bactéries nodulatrices isolées des racines de *Retama raetam* sont souvent des Sinorhizobiums, des rhizobiums et des agrobactériums (Mosbah et *al.*, 2007). Elles abritent une flore microbienne très diversifiée, cette association symbiotique leur permet de fixer l'azote atmosphérique et de le convertir en azote organique assimilable (NO_3).

Les rétames se multiplient au printemps par semis ou par bouturage de tiges aoutées, dans des sols pauvres, bien drainés même sablonneux.

Systématique de *Retama raetam*

Selon Quezel et Santa (1962), les rétames sont classés dans le taxon suivant :

- Règne : végétal
- Embranchement : Spermaphytes
- Sous embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones

- Ordre : Fabales
- Famille : Fabacées
- Sous famille : Papilionacées
- Genre : *Retama*
- Espèces : *Retama raetam* (Forssk)

II.3 - Description Génétique et caryologie

Le genre *Retama* a fait l'objet de peu de travaux dans le domaine de la cytogénétique en Algérie, et les premières études cytogénétiques ont révélées l'existence d'un seul cytotype polyploïde ($2n=48$) chez *R. raetam* et *R. monosperma* d'Algérie. Le même nombre ($n=24$; $2n=48$) a été déterminé chez *R.sphaerocarpa* (Mahnane W, 2010).

II.4 - Importances de *Retama raetam*

La distribution géographique très diversifiée de la côte méditerranéenne jusqu'aux régions semi-arides et arides, *Retama raetam* possédant à la fois des intérêts pharmacologiques et écologiques et économiques intéressants.

II.4.1 - Intérêt écologique

Les rétames jouent un rôle très important dans le maintien de l'équilibre des milieux naturels et des écosystèmes, reconnues comme étant des plantes des zones arides et semi arides.

Les retames s'adaptent aux conditions les plus extrêmes de sécheresse et de salinité grâce à leurs morphologies.

Selon Mittler et *al.*, (2001), *Retama raetam* s'adapte bien aux conditions les plus extrêmes, elle développe un mécanisme moléculaire qui lui permet de résister aux changements climatiques (manque de nutriments et stress hydrique) et cela en entrant dans une phase de dormance partielle, en supprimant l'expression de certains gènes, grâce à une enzyme de défense qui est l'ascorbate peroxydase(APx).

Les rétames sont des espèces fixatrices de dunes, grâce à leur système racinaire très développé, Selon Zohary (1962), les racines de *Retama raetam* pénètrent jusqu'à 20m de profondeur dans le sol.

D'après Farchichi (1996), *Retama raetam* grâce à son potentiel germinatif élevé, sa tolérance au stress hydrique et son mode de ramification radiculaire, peut être considéré comme une espèce pionnière apte à coloniser les cordons dunaires, son utilisation dans les opérations de végétation de ces milieux fragiles est recommandable.

II.4.2 - Intérêt pharmacologique

La partie aérienne de *Retama raetam* est utilisée, en infusion, en poudre ou en compresse, pour le traitement du rhumatisme, les blessures et les piqûres de scorpion, elle est utilisée aussi contre les morsures de serpent (Chehma, 2006). En outre, des études expérimentales ont révélé que *Retama raetam* possède une activité antioxydante (Saadaoui et al., 2007), antimicrobienne et cytotoxique. Elle possède aussi un effet diurétique, antihypertenseur (Eddouks et al., 2007 ; Maghrani et al., 2003, 2005b, 2005a).

Des recherches scientifiques sur le genre *Retama*, ont montré que l'extrait aqueux de *Retama raetam* avait un effet hypoglycémiant; alors que l'administration orale d'une dose de 20 mg/kg de l'extrait aqueux de *Retama raetam*, diminue de façon significative la glycémie des rats normaux, ainsi que des rats diabétiques (Maghrani et al., 2003). De même, *Retama raetam* peut agir sur le métabolisme lipidique, selon Maghrani et al., (2004) ; l'administration oral de l'extrait aqueux de *Retama raetam* provoque une diminution de la concentration des triglycérides dans le plasma des rats normaux et diabétiques avec une diminution significative du poids corporel. En médecine traditionnelle, *Retama raetam* est utilisé dans le traitement de plusieurs maladies comme l'eczéma, elle est utilisé dans le sud dans les soins en cas de morsures de serpents (El Hamrouni, 2001).

II.4.3 - Intérêt industriel et économique

Les rétames sont considérés comme un excellent fourrage, de plus leur bois est utilisé en chauffage. Ils sont riches en fibre, dont la longueur moyenne atteint 1,93mm (Bahi, 1991), ils pourraient donc être valorisés dans l'industrie papetière.

Les rétames sont aussi des plantes ornementales en raison de leurs multiples fleurs odorantes. Les graines des rétames contiennent des lectines, protéines allergènes, utilisées par la plante dans les mécanismes de défense contre les insectes, ce qui pourrait donc être valorisé dans l'industrie des bio insecticides.

I. Matériel et Méthodes

I.1 - Objectif de l'expérimentation

Le but de cet essai est d'étudier l'effet de variation des concentrations de chlorure de sodium (NaCl) dans l'eau d'irrigation sur les paramètres physiologiques et morphologiques d'une plante steppique *Retama raetam* cultivée dans un sol limoneux argileux, nous visons précisément à rechercher d'éventuelles corrélations entre ces paramètres et déterminer le seuil de tolérance de cette plante vis-à-vis de la salinité. L'essai a été réalisé durant l'année universitaire 2016 /2017.

I.2 - Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans notre expérimentation sont des graines de *Retama raetam*, récoltées dans une zone ensablée de la wilaya de Laghouat, lors de l'été 2014.

I.2.1 - Description des graines

À l'œil nu, les graines de *Retama raetam* apparaissent sous forme ovoïde, lisses de couleur brun jaune, et d'une taille allant de 5 à 8 mm (figure 07).



Figure 07 : Les graines de *Retama raetam* photo originale.

I. 3 - Conditions expérimentales

I. 3.1 - Lieu de l'expérimentation

Notre expérimentation a été réalisée au sein du département de l'agronomie de l'université de Laghouat, les conditions climatiques sont contrôlées. Le tableau 04, indique les moyennes des températures enregistrées, durant trois moments de la journée : 9h, 12h et 16h.

Tableau 04 : Moyenne des températures journalières de la serre enregistrées par décade.

Périodes	Heure		
	09H	12H	16H
Du 02/11/2016 au 02/12/2016	23	25	20.5
Du 02/12/2016 au 02/01/2017	18	21	19

Les températures moyennes enregistrées étaient favorables et ne présentaient pas un stress sur la croissance des plantules de *Retama*. A ce propos Bezpaly (1984) note que les températures favorables à la croissance et au développement de la plante se situent entre 18° et 25°C.

I.3.2 - Containers

Les conteneurs utilisés dans notre expérimentation, sont des sacs en plastique, de couleur noir et présentant des orifices de drainage à leur base, permettant l'évacuation de l'eau d'irrigation (figure 08).



Figure 08 : Les conteneurs utilisés dans l'expérimentation (photo originale).

I.3.3 - Le substrat

Le substrat utilisé dans notre expérimentation est un sol limoneux argileux (tableau 05), il assure la disponibilité en éléments minéraux, et est caractérisé par une forte capacité de rétention en eau. Sachant que *Retama raetam* est une espèce psammophile, qui pousse bien sur un sol sableux qu'un sol argileux (Benhassine et Biala, 2013). La tolérance de retama au sel a déjà été étudiée sur un sol argileux par Lebbi (2014) et Zine el abidine (2015) sur un sol sableux. Selon Durant (1983), le danger de la salinité sur les plantes dans un sol argileux est multiplié par un facteur de 5, que celui d'un sol sableux.

Avant de remplir les conteneurs, nous avons procédé à un tamisage du sol, et une mesure de la conductivité électrique ($CE=1.1\text{ms/cm}$), ainsi que le $\text{pH}=7,54$, et ce afin de confirmer que notre substrat est non salin selon la classification de (Tiercelin, 1998).

Les analyses physico-chimiques de notre échantillon de sol ont été réalisées au niveau du département d'agronomie dans le laboratoire d'agronomie. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 05.

Tableau 05 : Caractéristiques physico-chimiques du substrat.

Paramètre	Résultat	Méthode et matériel
Limon	40 %	Tamisage et sédimentation
Argile	33.33 %	
Sable	26.67 %	
pH	7.54	pH mètre
Température	16.09 C°	Thermomètre
Conductivité électrique (CE)	1.1 ms/cm	Aubert (1980), par conductimètre

I.4 - Dispositif expérimental

Notre étude expérimentale a été menée avec un dispositif expérimental aléatoire en randomisation totale, à un facteur étudié (effet des différentes doses de NaCl) sur les paramètres biométriques et biochimiques des plantules de *Retama raetam*.

Le facteur étudié est composé de six (06) traitements, distribués au hasard, selon la table de permutation des nombres aléatoire (de 1 à 10). Chaque traitement comporte 08 répétitions (figure 09). T : traitement, P : plant.

T6 P5	T3 P1	T2 P5	T3 P7	T4 P1	T2 P7
T1 P3	T5 P8	T6 P4	T5 P2	T3 P4	T1 P2
T3 P8	T4 P3	T1 P6	T6 P1	T2 P2	T5 P7
T6 P7	T1 P4	T5 P4	T4 P6	T3 P2	T2 P8
T2 P6	T5 P5	T4 P4	T6 P3	T5 P1	T4 P5
T4 P8	T6 P2	T1P5	T2 P1	T1 P1	T6 P6
T1 P7	T4 P2	T5 P3	T3 P3	T4 P7	T2 P3
T3 P6	T6 P8	T2 P4	T5 P6	T1P8	T3 P5

Figure 09 : Schéma du dispositif expérimental en randomisation totale.

I.5 - Description des différents traitements

I.5.1 - Caractéristiques de l'eau utilisée pour la préparation des différents traitements

Pour la réalisation de notre essai, nous avons utilisé l'eau du robinet de la serre du département d'agronomie de Laghouat, additionné à chaque fois par une dose de sel d'NaCl. La teneur des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Laghouat (utilisée comme traitement témoin) sont présente dans le tableau (06).

Tableau 06 : Teneurs des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de robinet de Laghouat en (mg/l) et (meq/l).

Elément ou ions	Teneurs en mg/l	Teneurs en meq/l
K ⁺	13,7	0,35
Ca ⁺²	229	11,45
Na ⁺	153,7	6,68
Mg ⁺²	138	11 ,5
NO ₃ ⁻	0,62	0,01
SO ₄ ²⁻	1002	20,87
Cl ⁻	199	5,60
HCO ₃ ⁻	175,98	2,93
CO ₃ ⁻	0	0
Total	1912	59,39

Source : ADE, 2011.

Il est à signaler que, l'analyse de cette eau a été faite par le service des eaux (A.D.E) de la ville de Laghouat, la salinité de cette eau est égale à 1,1 ‰, sa conductivité électrique est de 1,2 ms/cm, ce qui correspond à une eau de salinité modérée.

I.5.2 - Caractéristiques des différents traitements

Le choix du type de sel "NaCl " est basé sur le fait qu'il est le plus répandu dans les sols et les eaux d'irrigation dans les régions arides et semi arides (Tiercelin, 1998). Dans le tableau 07, nous indiquons les différentes concentrations de chaque traitement utilisé, rappelons que le T1 est pris comme témoin.

Tableau 07 : Les Caractéristiques chimiques des traitements.

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5	T6
pH	7,35	7,62	8,3	8,5	8,5	8,7
La conductivité électrique	2.33	3.33	6.66	10	13.33	16.66
Residu sec g/l	1,4	2	4	6	8	10
La concentration de Nacl (mMole/l)	23.9	34.2	68.4	102.6	136.8	171.1

I.6 - Pré germination

La prégermination des graines a été réalisée le 30/10/2016, afin de lever la dormance (dormance tégumentaire) des graines de *Retama raetam*, nous avons procédé une scarification chimique des graines en faisant un trempage dans de l'acide sulfurique durant 6 heure suivie d'un rinçage par l'eau distillée plusieurs fois, selon les résultats de Benhassine et Biao (2013). La prégermination des graines a été réalisé dans des boîtes de pétrie contenant une couche de coton stérile imbibé d'eau distillée, et placées dans une étuve à 25 °C, L'eau distillée est ajoutée en cas de dessèchement du coton (figure 10).

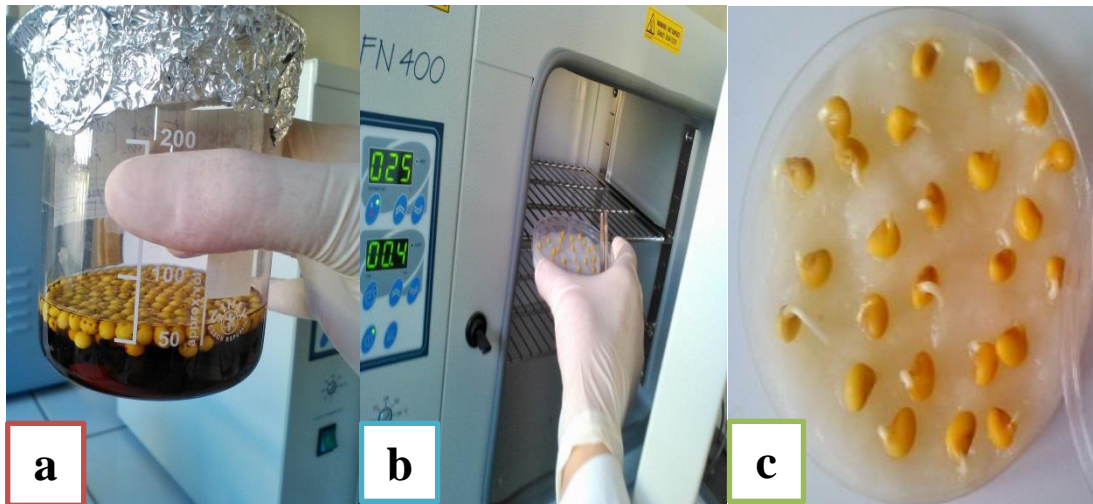


Figure 10 : Les étapes de la prégermination des grains (Photo originale).

(a) trempage dans l'acide sulfurique (b) dépôts des graines dans l'étuve à 25 °C, (c) graines germées de *Retama raetam*.

I.7 - Repiquage des germes

Après la germination des graines, un repiquage des jeunes germes de rétame en place définitive a été réalisé à raison de 02 germes par conteneur soit au total 96 plants, le semis a été fait le 02/11/2016.

I.8 - Irrigation

Avant l'application des différents traitements, les jeunes plantules de rétame, ont été irriguées avec l'eau du robinet, jusqu'à l'apparition des feuilles cotylédonaires, et ce pour favoriser l'homogénéité de la reprise des plants. Les jeunes plantules ont été arrosées régulièrement avec une dose de 25 ml/par conteneur, deux fois par semaine. Le suivi de l'expérience a duré deux mois.

I. 9 - Paramètres mesurés

Afin d'évaluer le comportement du Retame dans les conditions de salinité, nous avons effectué des mesures biométriques et biochimiques durant et à la fin de l'essai.

I.9.1 - Paramètres morphologiques

a. Mesure de la hauteur des plants (cm)

La hauteur finale des plants est mesurée en centimètre (cm) à l'aide d'une règle, du collet jusqu'à l'apex (figure 11), au moment de la coupe.



Figure 11 : Mesure de la hauteur des plants (photo originale).

b. Vitesse de croissance

Afin de calculer les vitesses de croissance, nous avons mesuré les hauteurs des plants chaque 10 jours. Le principe consiste à diviser les hauteurs obtenues par le nombre de jours correspondant, cette mesure est exprimée en cm/jour.

c. Nombre des feuilles

Ce comptage est réalisé au niveau de chaque plant au moment de la coupe.

d. Biomasse fraîche (g)

Nous avons pesé les différents organes (feuilles, tiges et les racines) en gramme (g) par plante avec une balance. Afin d'obtenir :

- Poids frais des feuilles (PFF).
- Poids frais des tiges (PFT).

- Poids frais total (feuilles + tiges) (PFTOT).
- Poids frais des racines (PFR).

e. Biomasse sèche (g)

Les échantillons de chacune des parties de la plante sont séchés à 105 C° dans une étuve pendant 24H :

- Poids sec des feuilles (PSF).
- Poids sec des tiges (PST).
- Poids sec total (feuilles + tiges) (PSTOT).
- Poids sec des racines (PSR).

I.9.2 - Paramètres physiologiques

a. Dosage de la chlorophylle

Le dosage de la chlorophylle a été déterminé par la méthode de Mackiney (1941). Il s'agit de broyer 100 mg de matière fraîche (des feuilles) en présence 25ml d'acétone à 80%. Après filtration, on laisse 72 h à l'obscurité, après on mesure la densité optique au spectrophotomètre à des longueurs d'ondes de 663 et 645 nm. La concentration en chlorophylle totale est déduite par la formule suivante :

$$\text{Chlorophylle Totale} = 20.2 * Do (645 \text{ nm}) + 8.02 * Do (663 \text{ nm})$$

b. Dosage de la proline

La proline ou acide pyrrolidine 2-carboxylique est l'un des vingt principaux acides Aminés qui entrent dans la constitution des protéines. La proline est facilement oxydée par la ninhydrine ou tricetohydrindène. C'est sur cette réaction que se base le protocole de mise en évidence de la proline dans les échantillons foliaires (El Jaafari, 1993). La méthode suivie est celle de Troll et Lindsay, (1955), simplifiée et mise au point par Rasio et *al.*, (1987).

Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche (des feuilles) dans des tubes à essai contenant 2ml de méthanol à 40%. Le tout est chauffé à 85°C dans un bain-marie pendant 60mn (Les tubes sont bien fermés par des bouchons pendant le chauffage pour éviter la

volatilisation de l'alcool). Après refroidissement ; on prélève 1ml d'extrait auquel il faut ajouter :

- 1 ml d'acide acétique (CH_3COOH) ;
- 25 mg de ninhydrine ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$) ;
- 1 ml de mélange contenant :
 - 120 ml d'eau distillée ;
 - 300 ml d'acide acétique ;
 - 80 ml d'acide ortho phosphorique (H_3PO_4 d=1,7).

La solution obtenue est portée à ébullition dans un bain marie pendant 30 mn à 100°C , la solution vire au rouge, après refroidissement, 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée par un vortex, deux phases se séparent (une phase supérieure à la couleur rouge contient la proline et une phase inférieure transparente sans proline). Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure est récupérée est déshydratée par l'ajout d'une spatule 5 mg de Sulfate de Sodium Na_2SO_4 anhydre (pour éliminer l'eau qu'elle contient). Ont reposé la solution pondant 48 h, Après on détermine la densité optique (DO) à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible à une une longueur d'onde de 528 nm. Les valeurs obtenues sont converties en taux de proline par le biais d'une « courbe étalon », préalablement établie à partir d'une série de solution de concentration en proline connue. Cette courbe est utilisée pour obtenir les concentrations **C'** en $\mu\text{g/g MF}$ est obtenue par la formule suivante :

$$\mathbf{C' = Proline (\mu\text{g/g MF}) = C * V * P^{-1} * 1000}$$

Avec :

C : Concentration obtenue dans la solution d'extraction ($\mu\text{g/ ml}$).

V : volume d'extraction (4ml).

P : Prise d'essai (mg).

I.10 - Analyse minérale

Nous avons procédé au dosage du Sodium et du potassium accumulés dans les feuilles de Retame à la fin de l'expérimentation.

I.10.1 – Préparation des solutions étalons

a) Sodium : Nous avons préparé 100 ml d'une solution mère renfermant 0.5 g/l de sodium, on pèse 0.127 g de NaCl pur et on ajoute 100 ml d'eau distillé, la gamme étalons des solutions filles est indiquée dans le tableau 08 :

Tableau 08 : Concentration des solutions filles pour dosage du sodium.

Prélèvement (ml) de la solution mère	6	7	8	9	10	11
Eau distillée (ml)	Ajustement à 100 ml					
Concentration du Sodium (mg/l)	30	35	40	45	50	55

Cette solution se prête aux dosages par spectrophotomètre à flamme (figure13) qui va donner une courbe d'étalonnage du dosage de Sodium (Annexe 01, figure 27).

b) Potassium : Nous avons préparé 100 ml de solution mère renfermant 1.5 g/l de potassium et ce en prélevant 0.286 g de KCl pur et en ajoutant 100 ml d'eau distillée la gamme étalon des solutions filles est indiquée dans le tableau 09 :

Tableau 09 : Concentration des solutions filles pour dosage du potassium.

Prélèvement (ml) de la solution	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
Eau distillée (ml)	Ajustement à 100 ml					
Concentration du potassium (mg/l)	1.3	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0

Cette solution se prête aux dosages par spectrophotomètre à flamme (figure13), qui va donner une courbe d'étalonnage du dosage de Potassium (Annexe 01, figure 28).

I.10.2 - Préparation des échantillons

Les feuilles lavées sont séchées dans une étuve à 105 C° pendant 24 h, broyées, puis conservées dans des flacons fermés (Figure 12).

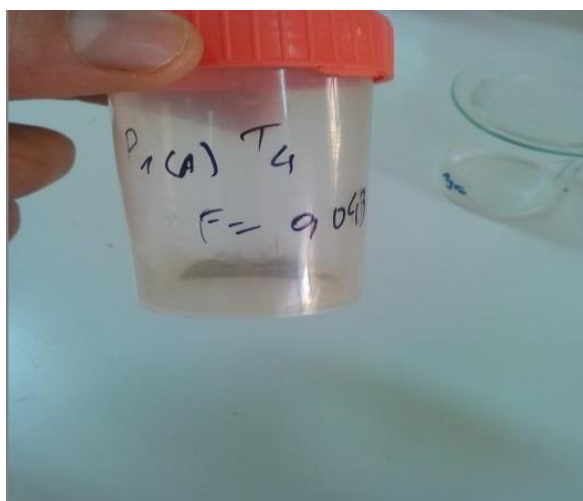


Figure 12 : Flacon de conservation de la poudre végétale (photo originale).

1.10.3 - Technique de la minéralisation humide

L'analyse minérale est réalisée sur des feuilles séchées et broyées. Dans un bécher, on verse 10 ml d'acide nitrique (HNO_3) concentré ($d = 1.40$) sur 200 mg de poudre végétale (des feuilles). On évapore sur plaque chauffante, en recouvrant les béchers d'un verre de montre; le minéralisât est repris par 2 ml de HNO_3 concentré, transvasé avec les eaux de rinçage dans une fiole jaugée de 50 ml. Cette solution se prête aux dosages par spectrophotomètre à flamme (figure13) pour les deux éléments minéraux à savoir les teneurs en Na^+ et K^+ (le sodium, le potassium).



Figure 13 : un spectrophotomètre à flamme (photo originale).

I. 11 - Analyse statistique

Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse statistique à l'aide du logiciel de minitab 17, l'analyse de la variance a été faite avec le test ANOVA, à un facteur contrôlé au seuil de 5%, le test de corrélation a été fait entre les différentes variables.

II.1 - Paramètres morphologiques

II.1.1 - Vitesse de la croissance des plants (cm/j)

Pendant 60 jours d'irrigation par des différentes doses de NaCl, nous avons remarqué que les plants des traitements T5 et T6, n'ont pas pu résister et ont dépérit en totalité après 40 jours. Les résultats relatifs à la vitesse de croissance (cm/j) sont présentés dans la figure 14.

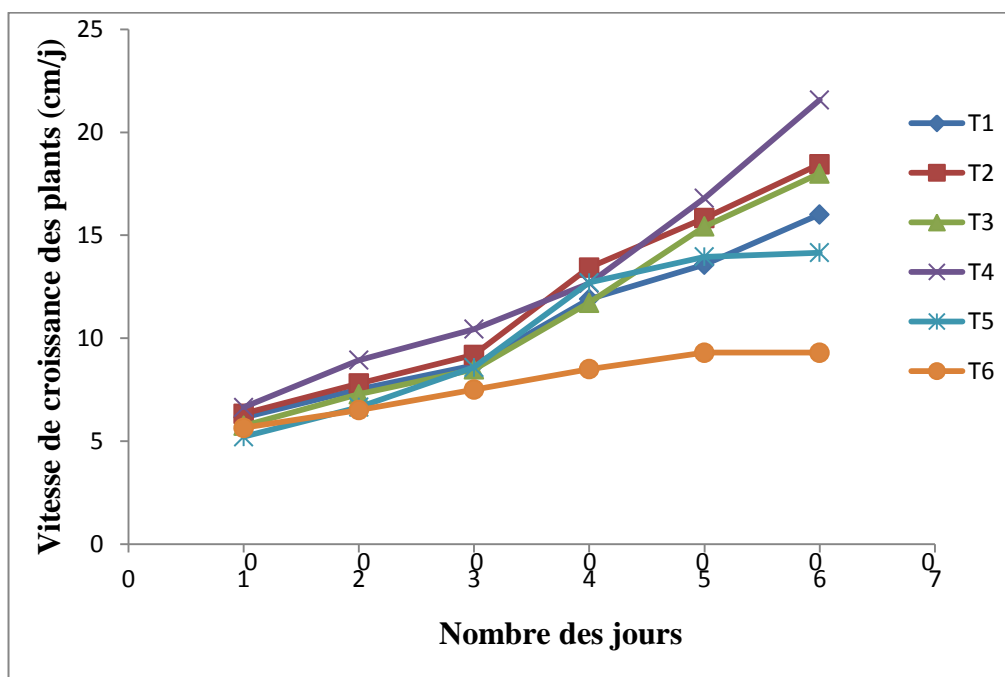


Figure 14 : La vitesse de croissance des plants durant 60 jours de culture (cm/j).

Selon la figure 14 et l'analyse de variance ($P= 0.018$) nous constatons qu'il y a une différence significative entre les traitements, durant les différentes périodes étudiées. En effet, les plants issus du traitement (T4 : 6 g/l) manifestent les vitesses de croissances les plus élevées par rapport aux traitements (T1, T2, T3). Les traitements (T5, T6) ont présenté les valeurs les plus faibles.

La diminution de la croissance de l'appareil végétatif observée chez les plantules de *Retama raetam* peut être expliquée par le fait que le NaCl agit par augmentation de la pression osmotique du milieu, ce qui empêche l'absorption de l'eau par le système racinaire. Ceci entraîne, par conséquent, une réduction de la croissance qui est le résultat, au niveau cellulaire, d'une baisse du nombre de divisions cellulaires selon les déclarations de (Benamar, 2009). La réduction de la croissance peut résulter de l'augmentation de la concentration en acide abscissique dans la partie aérienne ou d'une réduction des

concentrations en cytokinine (Itai, 1999). En plus du contrôle de la croissance par les signaux hormonaux, la réduction de croissance résulte de la dépense de ressources dans les stratégies d'adaptation (Binzel, *et al.*, 1985). Selon Haouala *et al.*, (2007), la réduction de croissance est observée en présence de sels pouvant limiter la présence des ions essentiels comme K^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- .

II.1.2 - Hauteurs finales des plants (cm)

Nous avons pris des photos des plants pour toutes les traitements à 60 jours de culture, et ce afin d'avoir une idée sur l'aspect finale des plants avant de mesurer les paramètres biométriques (figure 15).

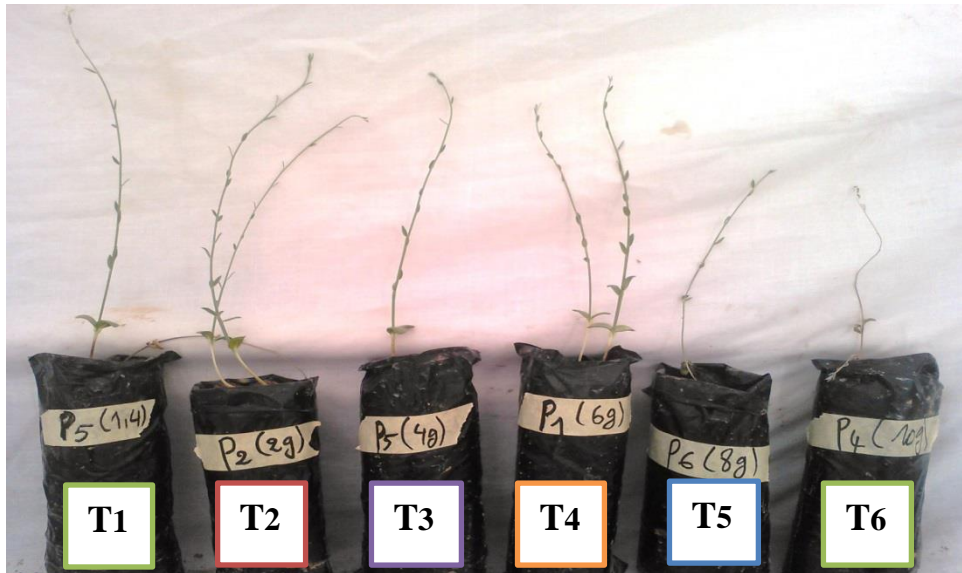


Figure 15 : Aspect des plantes à (60jours) photo originale.

L'effet de traitement apparait nettement sur la hauteur finale des plants dans la (Figure 15) en particulier le T5 et T6.

Les résultats de la hauteur finale des plants sont présentés dans la figure (16).

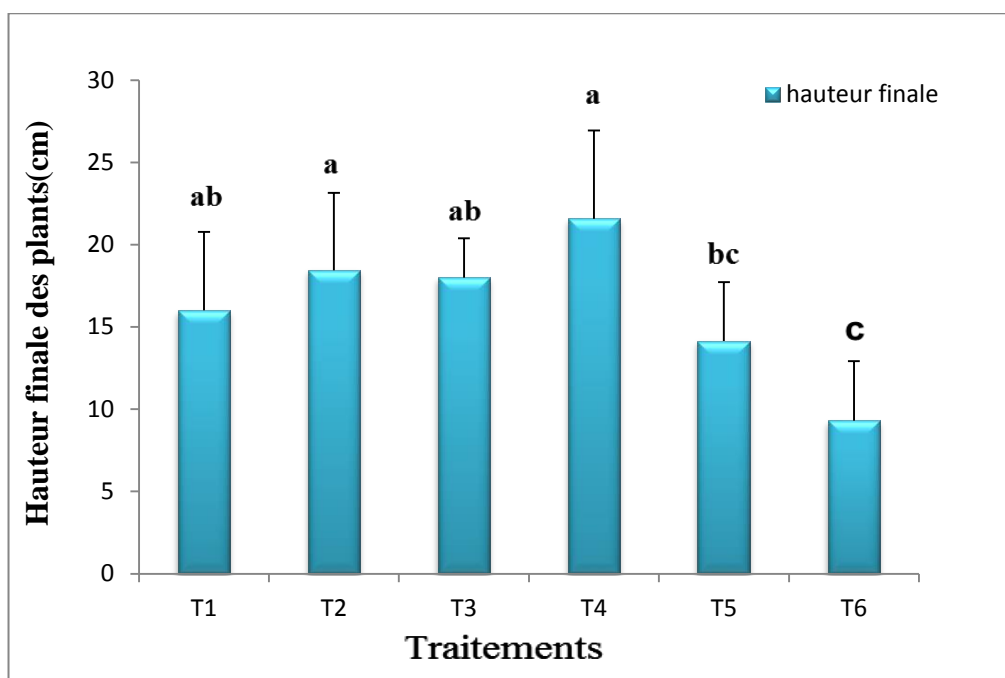


Figure 16 : Hauteur finale des plants (cm).

La hauteur de la végétation est un paramètre indicateur de l'effet inhibiteur du sel sur la croissance de la plante. L'analyse de la variance ($P= 0,018$) de la hauteur finale des plants a montré que il y a une différence significative entre les différents traitements testés.

Selon la figure (16) et l'analyse de la variance ($P= 0,018$) nous enregistrons une diminution de la hauteur au niveau des traitements (T5, T6) par rapport aux traitements (T1, T2, T3, T4 ; Annexe 02).

D'après Ben Naceur *et al.*, (2001), le sel a un effet dépressif sur le taux de la croissance biologique, Ceci explique nettement le rabougrissement des plantes suite à un ralentissement de la croissance due à la forte concentration des sels.

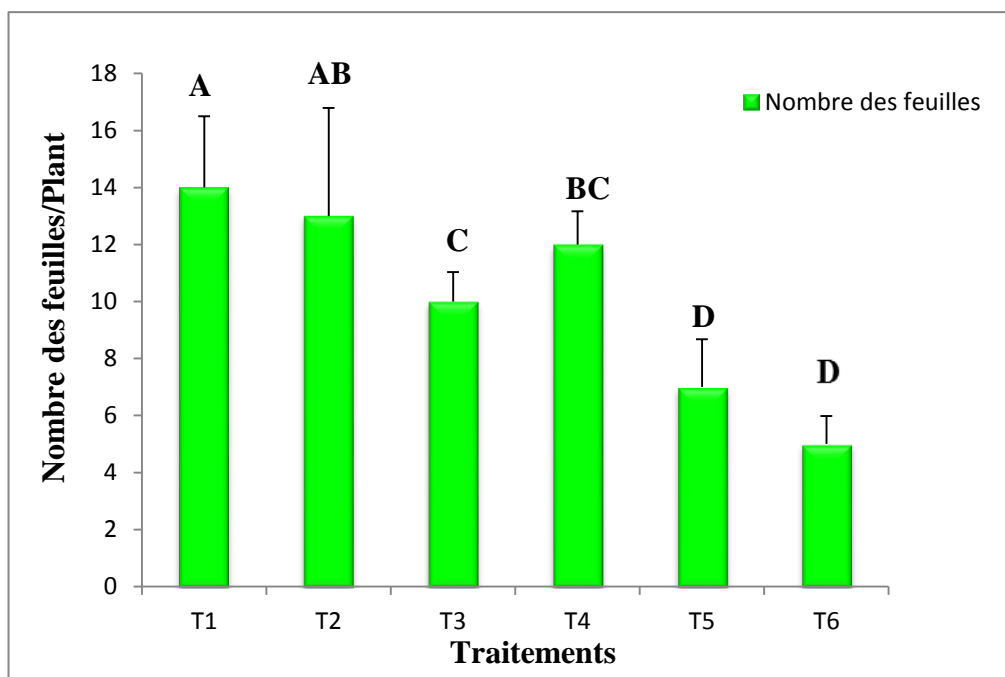
Des résultats similaires ont été rapportés par Hameed (2008), montrant des résultats similaires avec une réduction significative de la hauteur des plantes en fonction de l'augmentation de la salinité.

Selon Haouala *et al.*, (2007), la diminution de la croissance est le résultat au niveau cellulaire d'une baisse du nombre de divisions cellulaires lors des stress abiotiques (stress salin et hydrique).

Selon Wang *et al.*, (1993), Chez *Arabidopsis*, les régulations de la division cellulaire et de l'élongation cellulaire sous stress salin sont effectuées par l'intermédiaire de l'ABA, cependant le mécanisme exact de cette régulation est encore mal connu.

II.1.3 - Nombre des feuilles par plant

Le nombre des feuilles par plant est présenté dans la figure 17.



Figures 17 : Nombre des feuilles par plant.

L'analyse de la variance ($P < 0,001$) a révélé une différence hautement significative entre les traitements testés pour ce paramètre. Les meilleures valeurs ont été enregistrées par les traitements (T1, T2) qui sont au stade (14 feuilles) par rapport aux traitements (T4, T3) au stade (12 et 10 feuilles). Les traitements (T5, T6) ont présentés le nombre des feuilles le plus faible (7 et 5 feuilles ; Annexe 02).

Ce résultat a été confirmé par Snoussi et Halitim (2001), qui ont montré que la salinité provoque la réduction du nombre des feuilles. D'après ces résultats on peut dire que la salinité a bien déclenché un mécanisme d'adaptation à la salinité en réduisant le nombre de leurs feuilles.

Ainsi, plusieurs études ont montré que l'expansion des feuilles dépend de l'aptitude des plantes à éviter les concentrations excessives des ions Na^+ et Cl^- dans les tissus foliaires et la capacité d'engendrer de nouvelles feuilles photo synthétiquement actives (Aloui, 2011).

En effet, les parties transpirantes (les feuilles plus âgées), vont progressivement accumuler des ions Na^+ et Cl^- or l'accumulation de ces ions perturbe le fonctionnement métabolique de la cellule, aboutissant enfin à une mort cellulaire, et donc à la sénescence de ces feuilles (Aloui, 2011).

Flowers et *al.*, (1977), ont parlé de ce phénomène observé sur les feuilles les ions de chlorures et de sodium peuvent être à des fortes concentrations toxiques pour la plante en provoquant une brûlure et un jaunissement prématuré des feuilles.

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente (Wang et Nil, 2000).

II.1.4 - Poids frais et sec total (tige + feuille) (g)

La biomasse fraîche des plants permet d'évaluer l'état de turgescence des plants et la teneur en eau. Les résultats du poids de la biomasse fraîche et sec totale (tige + feuille) sont présentés au niveau de la figure 18.

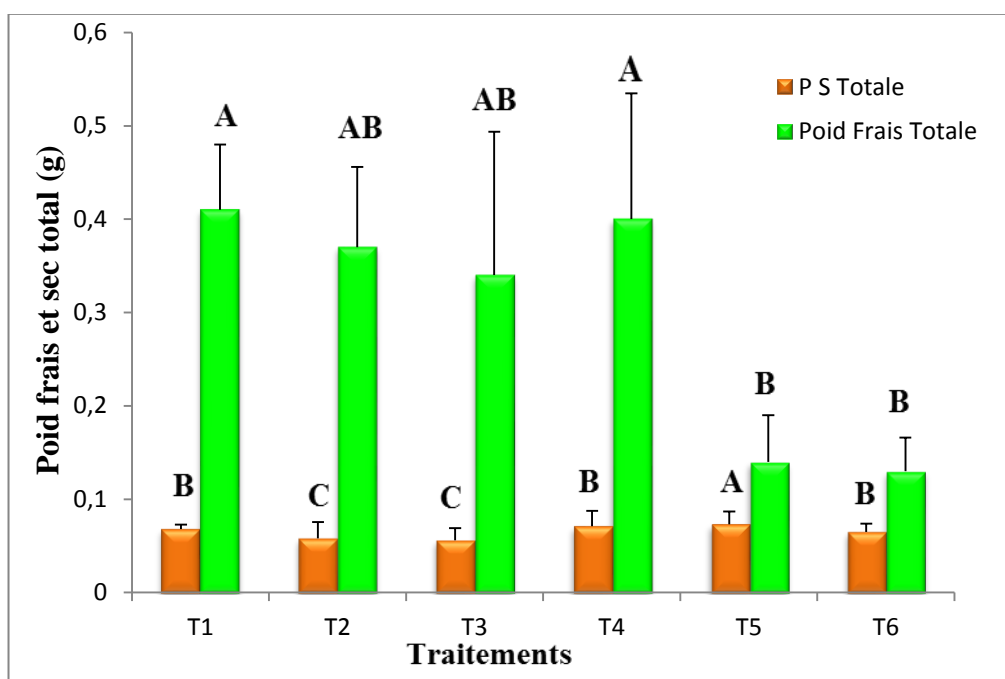


Figure 18 : Poids frais et sec total des plants (g).

L'analyse de la variance ($P=0,009$) a montré qu'il y a une différence hautement significative entre les différents traitements pour le poids frais total des plants. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau des traitements (T1, T2, T3, T4) par rapport au traitement (T5, T6 ; Annexe 02).

Une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire et à celui du sol (Baba, 2010). Le

potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes diminuent et deviennent de plus en plus négatif avec l'augmentation de la salinité (Aloui, 2011).

Le stress salin inhibe la photosynthèse par la réduction du potentiel hydrique. Dans ce cas, le principal but de la tolérance à la salinité est d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau en conditions salines (Cushman *et al.*, 1989 in Panda et Das, 2005).

La biomasse fraîche faible peut être expliquée par les résultats des travaux de recherches de Heuer et Feigin (1993), les résultats montrent que l'inhibition de la photosynthèse est l'une des résultats des effets de la pression osmotique et de la spécificité des ions dans un milieu salin.

Le taux de la matière sèche du végétal nous permet d'évaluer l'état de la photosynthèse de la plante. L'analyse de la variance ($P < 0,001$) a montré qu'il y a un effet hautement significatif des différents traitements sur le poids sec total des plants (Annexe 02). En effet, la salinité a augmenté le taux de matière sèche de manière générale, nous enregistrons le poids le plus élevée au niveau de traitement (T5), et les poids les plus faibles au niveau des traitements (T2, T3 ; Annexe 02). La dose de 6g/l (T4) a présenté une valeur intermédiaire montrant une bonne photosynthèse.

Ainsi la biomasse sèche élevée chez le T5 peut être expliquée par le phénomène d'accumulation des sels absorbés suite au phénomène d'antagonisme des éléments induisant par conséquent la réduction de la croissance et du développement des plants.

II.1.5 - Poids frais et sec des racines (g)

L'évaluation du poids frais et sec des racines de *Retama raetam* sous différentes concentrations du NaCl est représentée dans la figure 19. Rappelant que nous avons perdu les données de ceux des traitements T5 et T6 vu la mort total des plants pour ces derniers.

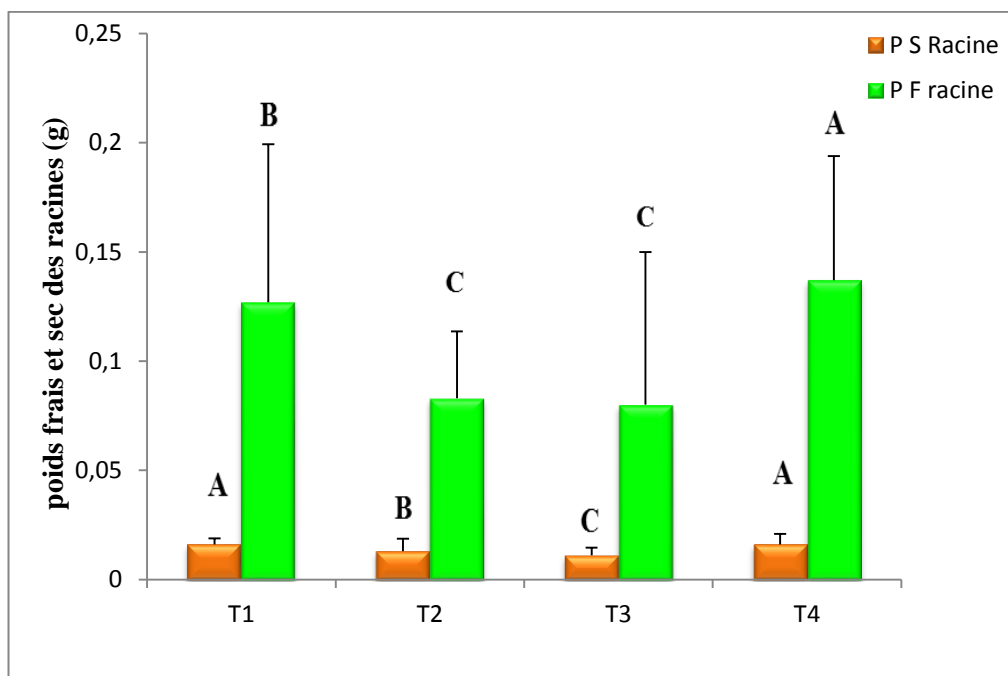


Figure 19: Poids frais et sec des racines des plants de retame (g).

L'analyse de la variance ($P < 0,001$) et ($P = 0,001$) a montré que l'effet traitement a manifesté une différence très hautement significative et significative le poids frais et sec des racines (Annexe 02).

Les différentes concentrations de NaCl influent sur la croissance pondérale de la partie souterraine. Le poids la plus élevé sec et frais des racines a été observé chez le traitement T4. Nos résultats sont similaires à ceux de El Mekkaoui, (1987), Lebbi (2014) et Zine el abbidine (2015) qui ont démontré que la dose en sel de 6 g/l a été la limite pour la croissance racinaire des plants de retame.

La réaction de la plante à la salinité se fit initialement au niveau des racines qui synthétisent une hormone appelée acide abscissique (ABA), qu'elles véhiculent vers les parties aériennes où se déclenche le mécanisme de fermeture des stomates (Schroeder et al., 2001).

Selon El Mekkaoui, (1987), le *Retama retam* sous un traitement croissant de NaCl de 50 à 300 méq/l, les racines sont moins affectées que les tiges, avec une faible modification

dans la longueur et l'effet de la salinité sur les racines n'apparaît qu'à partir de 6 g/l de NaCl.

La présence de sel dans un milieu implique un allongement et augmentation du poids des racines comme facteur d'adaptation à la salinité afin de les maintenir en vie, ce qui provoque une augmentation de l'hydratation racinaire en milieu salin. Nous avons également constaté qu'il y a une augmentation de l'hydratation de la partie racinaire. Cela est dû à l'accumulation de Na^+ dans les racines qui provoque une augmentation de la pression osmotique. Ce comportement des racines sous stress salin, semblable à celui sous déficit hydrique, provoque un allongement et une augmentation de l'hydratation.

Diehli, Bailliere (1975), ont noté que la concentration élevée du sel dans le sol peut augmenter la pression osmotique qui devient égale ou dépasse celle de suc cellulaire des racines. Dans ce cas, le végétal subit un flétrissement qui peut devenir permanent en cas de déficit en eau prolongé.

II.2 - Paramètres physiologiques

II.2.1 - Quantité de la chlorophylle (mg/g MF)

Le résultat de l'effet de la salinité sur la formation des pigments chlorophylliens des feuilles de retame est présenté dans la figure 20 :

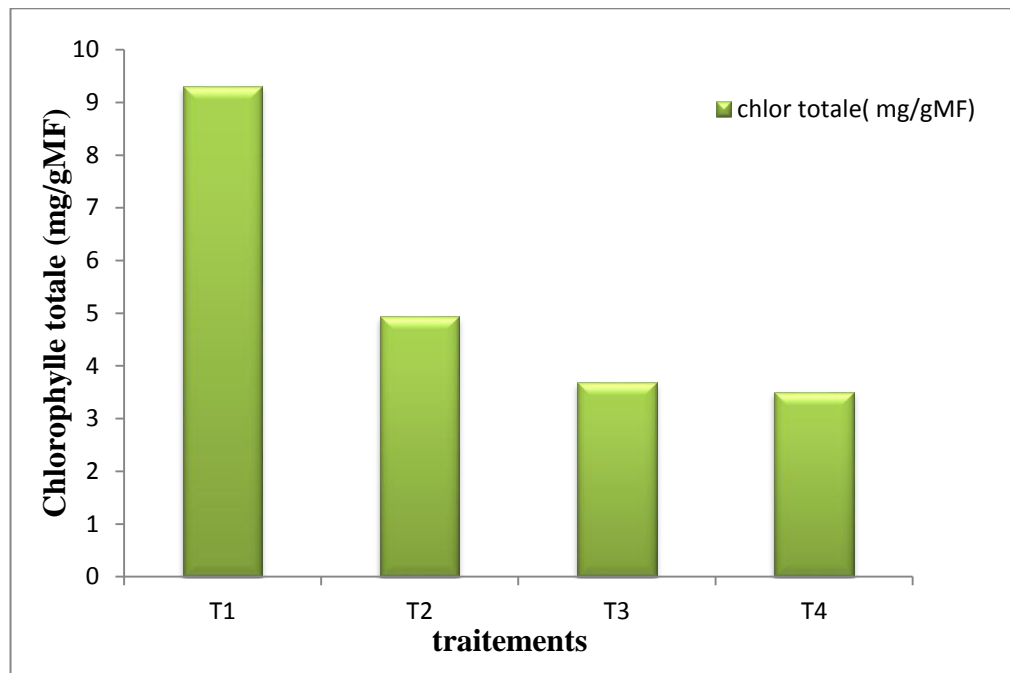


Figure 20: Teneur en chlorophylle totale des plants de retame sous stress salin.

L'analyse de la variance ($P < 0,001$) a montré une différence hautement significative entre les quatre traitements, La valeur la plus élevée de la teneur en chlorophylle est obtenue chez le traitement témoin (T1), la valeur la plus faible est enregistrée dans le traitement T4 (Annexe 02).

La salinité cause le plus souvent une perte progressive de la chlorophylle conduisant à la réduction de l'absorption de la lumière par les feuilles, et donc une moindre accumulation de la matière sèche chez la plante. L'altération de la chlorophylle affecte le processus de la photosynthèse ce qui suggère que le degré de variation du contenu en chlorophylle peut être utilisé comme critère de sélection de la tolérance vis-à-vis du stress salin (Munns *et al.*, 2006).

L'augmentation des teneurs en chlorophylle totale est la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet d'un stress hydrique qui engendre une plus grande concentration (Siakhène, 1984). Par contre, la chute des teneurs en chlorophylle est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO_2 atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Bousba *et al.*, 2009).

La salinité détruit la structure fine des chloroplastes et provoque l'instabilité des complexes protéines-pigments et la diminution de la teneur en chlorophylle (Lapina et Popov, 1984 in Lamzeri, 2007). La réduction de la concentration en chlorophylle en conditions de stress salin est attribuée à l'augmentation de l'activité des enzymes catalytiques, les chlorophyllases (Rao and Rao, 1981 in Lamzeri, 2007).

La salinité provoque une dégradation de la chlorophylle et une accumulation de la fraction soluble des composés azotés (Viégas et Siveira, 1999).

II.2.2 - Quantité de la proline ($\mu\text{g/g MF}$)

Le résultat de l'effet de la salinité sur la teneur en proline dans les feuilles de retame est présenté dans la figure 21 :

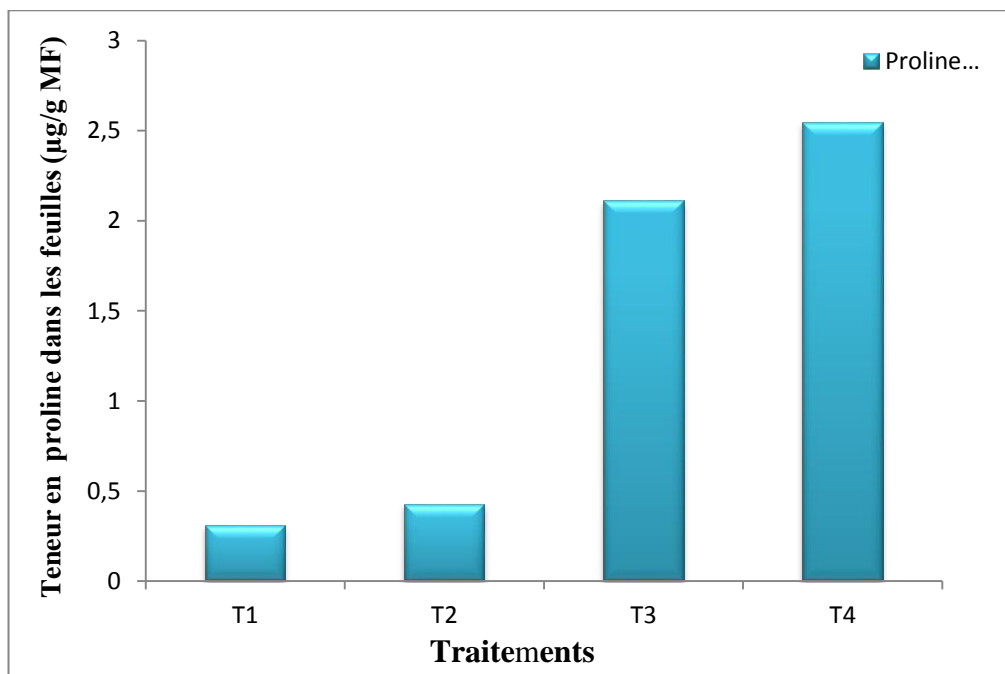


Figure 21 : Teneur en proline dans les feuilles de retame sous stress salin.

L'analyse de la variance ($P < 0,001$) a montré qu'il y a une différence hautement significative entre les traitements étudiés. L'accumulation de la proline dans les feuilles de retame a augmenté progressivement avec l'intensité du stress salin (Annexe 02).

La valeur la plus élevée est obtenue chez le traitement (T4). Les plus faibles valeurs sont constatées chez T1, T2 (Annexe 02). Ceci peut consolider nos résultats avec les paramètres biométriques obtenus, il semble que retama tolère la dose de 6g/l (T4).

La proline représente l'une des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques. Elle peut être utilisée comme un marqueur pour évaluer la tolérance au stress salin surtout chez les halophytes (Belkhodja *et al.*, 2008).

Garcia *et al.*, (1997), notent que la concentration en proline est plus élevée chez les génotypes tolérants que chez les génotypes sensibles au stress salin.

Kirti *et al.*, (1991), font remarquer que l'augmentation de la proline intervient comme une réponse au stress salin.

Des résultats similaires ont été trouvés par Djerroudi *et al.*, (2010), où ils ont indiqués que, l'augmentation de la teneur en proline dans tous les organes de la plante est en

fonction de l'augmentation de la salinité, et que les tiges et les feuilles sont plus riches en proline que les autres organes.

II.3 - Bilan minéral du sodium et du potassium

II.3.1 - Teneur en sodium

Les variations de la teneur en Na^+ dans les feuilles de *Retama raetam*, en fonction de la salinité est présentée dans La figure 22 :

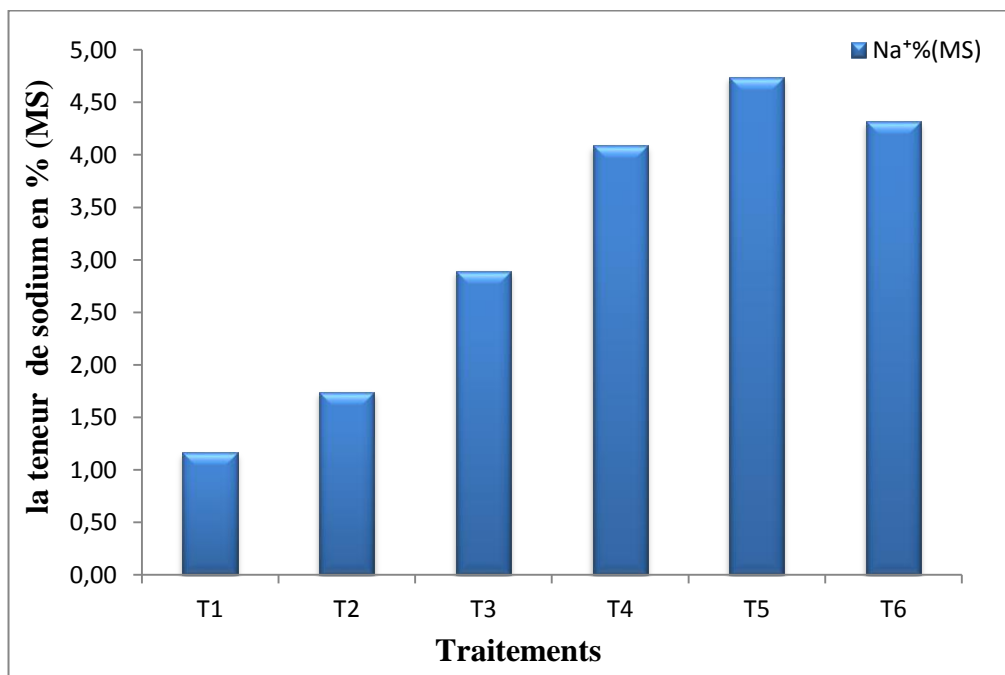


Figure 22 : La teneur de sodium en % (MS) des feuilles de retame sous stress salin.

L'analyse de la variance ($P < 0,001$) a montré une différence hautement significative entre les traitements testés, La valeur la plus élevée de la teneur en sodium est enregistré par le traitement (T5). La valeur la plus faible est enregistrée dans le traitement (T2, T1 ; Annexe 02).

Ces résultats montrent que ce paramètre augmente suite à l'accroissement de la concentration saline dans l'eau d'irrigation par rapport aux plants témoins.

L'effet du sel sur l'accumulation du sodium est très marqué, car les variations par rapport au témoin sont très hautement significatives. L'accumulation de Na^+ en conditions de stress salin dans la partie aérienne a été aussi rapportée par plusieurs auteurs dont (Navarro et Rubio, 2006).

La salinité fait augmenter le contenu de Na^+ , Ca^{2+} et Cl^- chez *Vicia faba* et le rapport K^+/Na^+ diminue (Gadallah, 1999 in Haouala et al., 2007).

Dans notre cas nous avons également obtenu une diminution dans le rapport de K^+/Na^+ (figure 29, Annexe 01).

L'analyse des éléments minéraux Na^+ , K^+ sous l'effet de la salinité suggère une variabilité cationique de la réponse de l'espèce *Retama raetam* comme étant un bon marqueur physiologique au stress salin.

Selon Flowers et al., (1977), Les halophytes sont capables d'accumuler le sodium dans leurs matières foliaires à des concentrations élevées et de les stocker dans les vacuoles, ce comportement est une méthode d'adaptation utilisée par ce type de plante. L'une des relations les plus connues entre la réaction des plantes et la salinité, est celle associant le degré de tolérance ou de sensibilité aux sels et la dynamique des ions, exprimée soit par leur absorption, leur transport ou leur accumulation (Baba, 2010).

D'après Bouaouina et al., (2000), l'accumulation cellulaire de Na^+ chez le blé augmente avec la concentration de NaCl.

Selon Hassani et al., (2008), l'apport de la solution saline au NaCl à deux génotypes d'orge, provoque une migration du Na^+ dans les parties aériennes avec une forte accumulation dans les feuilles par rapport aux racines. Dans les racines, le Na^+ est inversement corrélé avec le stress salin.

Des travaux menés par Ouerghi et al., (2000), montrent que les teneurs en Na^+ sont plus élevées dans les parties aériennes et que ce cation migre vers les feuilles pour s'y accumuler. Ce transfert de Na^+ , des organes souterrains vers les parties aériennes et son enrichissement, augmente avec l'intensité et la durée du stress salin (Ouerghi et al., 2000).

II.3.2 - Teneur en potassium

La variation de la teneur en potassium chez *Retama raetam*, en fonction de la salinité est présente dans La figure 23 :

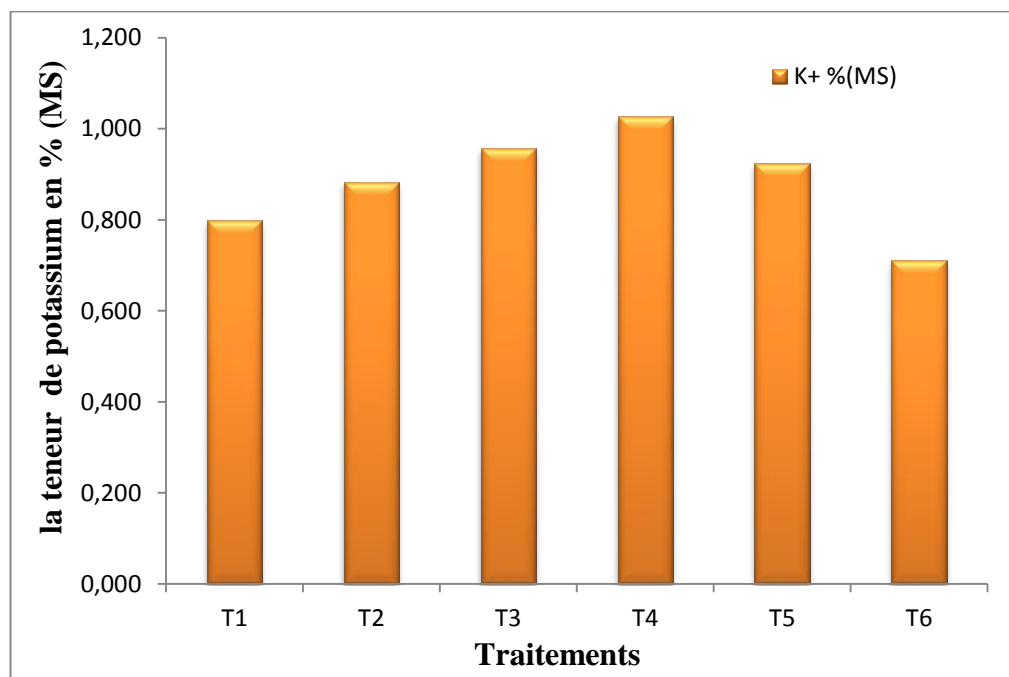


Figure 23 : La teneur de potassium en % (MS) des feuilles de retame sous les doses de NaCl.

L'analyse de variance ($P < 0,001$) a montré qu'il y a une différence hautement significative entre les traitements testés, la valeur la plus élevée de la teneur en potassium est enregistré par le traitement (T4), la valeur la plus faible est enregistré dans le traitement (T6). Ces résultats ont montré aussi que le T4 est le milieu le plus favorable pour *Retama raetam* (Annexe 02).

Nos résultats convergent vers ceux obtenus par Boukraâ (2008) sur les plantes d'*Atriplex halimus* traitées au NaCl, où les teneurs de K^+ baissent dans les feuilles quand le milieu salin est concentré en NaCl.

Dans le même contexte, Ould el Hadj-Khelil (2001), signale que les teneurs en K^+ sont diminuées dans les plantes de tomate cultivées en présence de NaCl à 50 mM et en présence de NaCl à 100 mM. La teneur en K^+ diminue fortement dans tous les organes, et rapporte que, cette diminution est à relier avec la forte augmentation de la teneur en sodium, tout particulièrement dans la tige et les feuilles âgées.

L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} , Mg^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique (Haouala *et al.*, 2007).

Les résultats de Benlaldj (2008), indiquent également que le taux de K^+ chez *Atriplex halimus* L, baisse dans toute la plante lorsque la concentration du milieu devient plus élevée en sel.

Ce phénomène a été expliqué par une interaction compétitive entre le Na^+ et le K^+ et l'inhibition de la rétention du potassium en présence de fortes concentrations en Na^+ (Jeschke, 1984).

L'effet inhibiteur du traitement salin sur l'absorption de K^+ a été observé chez le blé tendre (Clarcke et Mac Caig, 1989) et l'olivier (Ottow *et al.*, 2005).

En outre, vis à vis du sodium, la charge en K^+ dans les différents organes des plantes stressées et témoins reste élevée, ce qui conduit à une compétition ionique en milieu salin (Khan *et al.*, 1997, Khan et Duke., 2001; Mezni *et al.*, 2002).

Le Na^+ semble influencer sur l'arrêt de l'absorption du K^+ . Il est admis ordinairement que la compétition entre le Na^+ et le K^+ conduit à une réduction du K^+ dans la plante, dans les milieux très salés (Baba, 2010).

Cet antagonisme entre les cations K^+ et Na^+ est un des caractères communs aux halophytes. Hernandez *et al.*, (2000) ont montré que sur des tissus foliaires de tomate en absence de sel, la teneur en K^+ des tissus s'accroît et en leur présence la teneur interne en Na^+ augmente.

II.4 – Résultats d’analyses des corrélations entre les paramètres étudiés

Dans l’annexe 03, nous avons présenté la matrice de corrélation et les valeurs de P au seuil de 5%. Nous avons trouvé des corrélations significatives et d’autres non significatives entre les différents paramètres étudiés. Les figures 24, 25 et 26 montrent les droites de corrélation pour quelques paramètres avec la valeur de P.

Il apparaît que plus que la concentration saline du milieu augmente, les retames accumulent plus de sodium et synthétisent plus de proline et produisent plus de matière sèche.

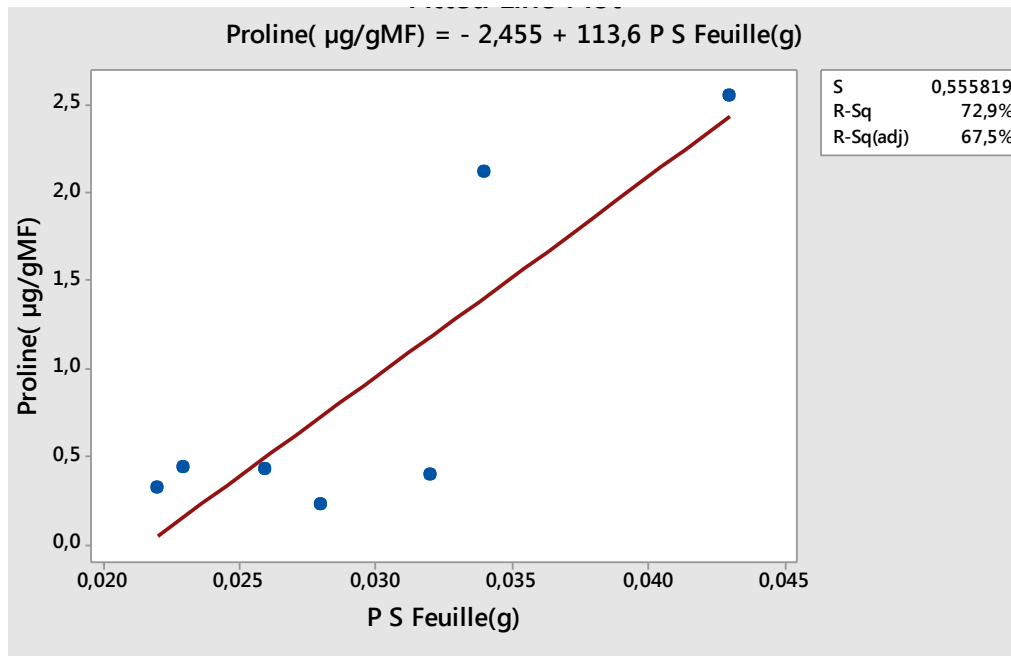


Figure 24 : Droite de corrélation positive entre la teneur en proline et le poids sec des feuilles (p=0.015).

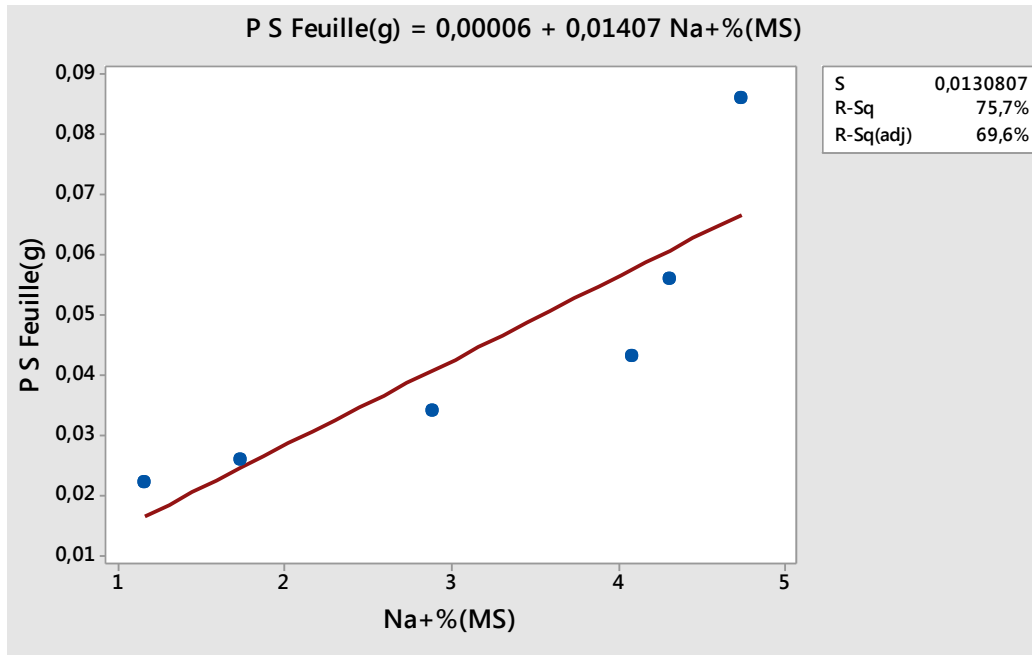


Figure 25 : Droite de corrélation positive entre la teneur en sodium des feuilles et le poids sec des feuilles (p=0.024).

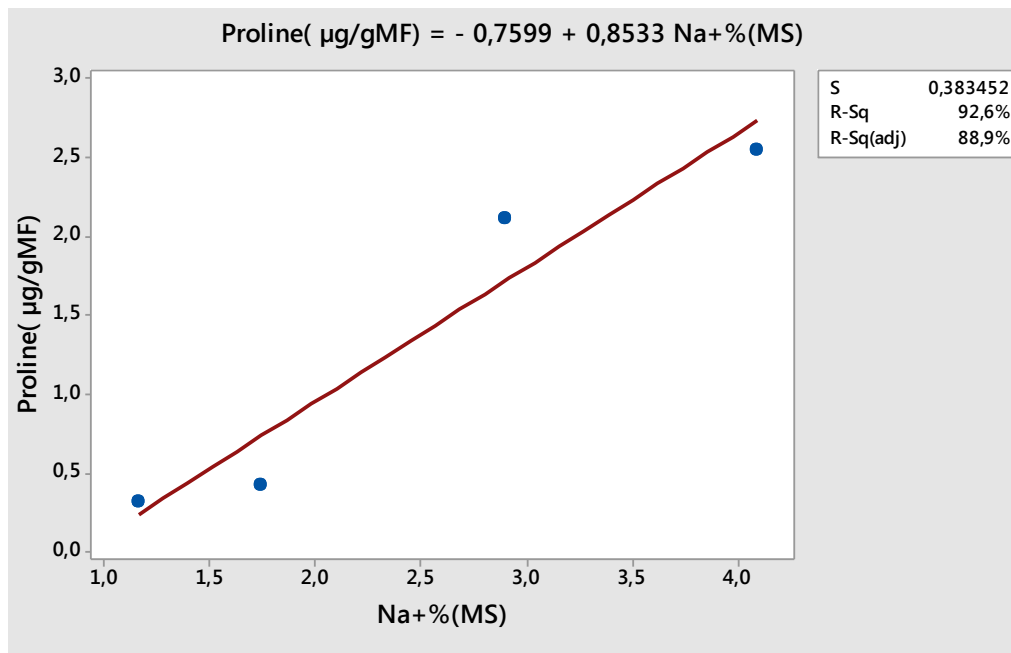


Figure 26 : Droite de corrélation positive entre la teneur en proline et la teneur en sodium (P=0.038).

Conclusion

Au cours de notre travail nous avons essayé de définir l'effet de la salinité sur la plante *Retama raetam*, en particulier sur l'aspect morphologique et physiologique de cette plante.

Cependant, pour la plupart des paramètres mesurés, une différence significative entre les traitements testés a été observée.

La vitesse de croissance, la hauteur finale des plants, le nombre des feuilles, le poids frais total, le poids sec total, poids frais et sec des racines, ont présenté une diminution en fonction de l'augmentation des concentrations de sel (NaCl) dans l'eau d'irrigation.

La tolérance de la plante au sel NaCl a été évaluée par le biais de plusieurs paramètres morphologiques et physiologiques, nous avons constaté une différence remarquable entre les traitements pour l'ensemble des paramètres mesurés, notamment T1, T2, T3 et T4 qui ont donnés les meilleurs valeurs par rapport aux autres traitements T5 et T6.

Au-delà de 6 g/l (T4), les hauteurs des plants, le nombre des feuilles, le poids frais et sec des plantes, ont diminué remarquablement.

Les concentrations de 8g/l et 10g/l : représentés par les traitements T5, T6 semblent être nocifs pour la croissance et le développement des plantes de retame, ce qui a expliqué la mort total des plantes irrigués par ces traitements.

Les résultats obtenus pour les paramètres physiologiques des 4 traitements restants : nous ont permis de déduire le caractère halophile facultatif de *Retama raetam*.

Nous avons constaté que la plus haute valeur en proline a été observée chez le (T4 :6g/l de NaCl). Par ailleurs la teneur en chlorophylle a diminué.

Le substrat utilisé (limoneux argileux) a aggravé l'action du sel sur la plante.

La teneur en sodium dans les feuilles de retame a augmenté sensiblement en fonction de l'augmentation des doses de NaCl. Par ailleurs les teneurs en potassium ont commencé à diminuer à partir du (T5 : 8g/l de NaCl).

Il apparait que le traitement non salin (T1 : 1,4g/l) a présenté les plus faibles valeurs par rapport aux traitements salin, nous pouvant conclure que *Retama raetam* préfère le sel a une limite de 6g/l.

Les test de corrélations établis ont montré que, si la concentration saline du milieu augmente, les retames accumulent plus de sodium et synthétisent plus de proline et produisent plus de matière sèche.

A travers cette étude nous avons pu démontré la tendance halophyte facultatif de *Retama raetam*, ce résultats peut être utilisé pour la réhabilitation des sols steppiques salin par plantation de cette espèce.

Références bibliographiques

Abdely C, 2006. Caractérisation des halophytes pour le dessalement des sols salins et le traitement des eaux salines. Rapport d'activités 2007. Centre de biotechnologie à la technopole de Borj-Cedria, Tunisie, pp. 28- 31.

Allal-benfakih I, 2006. Recherche quantitatives sur le criquet migrateur *Locusta migratoria* (Orth.Oedipodinae) dans le Sahara algérien. Perspectives de lutte biologique à l'aide de microorganismes pathogènes et de peptides synthétiques .thèse de doctorat N°17-2006.UNIV de limoge. Laboratoire UMR INRA 1061 Institut National Agronomique d'El Harrach. p27.

Aloui D, 2011. Analyse de la tolérance à la salinité de 30 géotypes d'orges dans un écosystème oasien. Mémoire de Master en Agronomie et Biotechnologies Végétales, Université de Carthage, Institut National Agronomique De Tunisie. 91 p

Aoun M, 2009. Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne (*Brassica juncea* L. Czern) néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines. Thèse de doctorat en science, université de Bretagne occidentale. 135 p.

Aubert G, 1980. Pédologie Ed, 1p.u de France, pp 25-35.

Baba S.K.S, 2010. Effet du stress salin sur quelques paramètres phoenologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'Atriplex en vue d'une valorisation agronomique. Mémoire Magistère. Spécialité : Agronomie Saharienne. 133p.

Bahi K ,1991. Contribution à l'étude de *Rétama monosperma* étude du système racinaire et recherche des associations de type *Rhizobium*.in In *Bouredje.n, 2005*, étude anatomique et biochimique des protéines et des acides aminés foliaires de *Rétama monosperma*(boiss) : mémoire de magistère . UNIV.des sciences et de la technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF (U.S.T.O) Oran.

Belkhodja M. et Bidai Y., 2004. Réponse de la germination des graines d'Atriplex *halimus* L. sous stress salin. Revue Sécheresse, N°4, vol.15, 331-335.

Belkhodja Mouley et Bouabdellah Loiza, 2008. Influence hormonale sur l'induction de la callogenèse chez *Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescenc* (pursch. Nutt). European journal of Scientific Research EJSR ISSN 1450-216XVol. 24No2 (2008), pp. 211-218.

Ben Ahmed H, Arafet M, Zid E, 2008. Tolérance à la salinité d'une Poaceae à cycle court : la sétairie (*Setaria verticillata* L.). *C.R. Biologies*, **331**:164- 170.

Ben Naceur M, Rahmoune C, Sdiri H, Meddahi M. L. et Selmi M, 2001. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. Sciences et changements planétaires/ sécheresse. Vol. 12, n° 3, pp. 74-167.

Benhassine F, Biala F, 2013. L'influence de type du sol sur l'émergence de *Aristida pungens* et *Retama raetam*. Mémoire, Master.Ecologie. UATL, 54p.

Benamar B. Daguin F. et Kaid-Harche M, 2009. Effet du stress sal la germination et la croissance *in vitro* du pistachier (*Pistacia vera* L.). Comptes Rendus

Benlaldj, 2008. Effet de la salinité sur la réponse minérale des plantes d'*Atriplex halimus* L. Mémoire de magistère en physiologie végétale, Université Es-Senia, Oran, 50 P.

Benrabah, 1990. Etude expérimentale de la solubilisation des phosphates naturels par des microflores des sols salés et forestier thèse ING INESA BATNA Pp45.

Bezpalý I, 1984. Les plantes cultivées en Afrique occidentale, Edit : MIR MOUSCOU 104p.

Binzel, M.L., P.M. Hasegawa, A.K. Handa & Bressan R.A, 1985. Adaptation of tobacco cells to NaCl. Plant Physiology, 79,118-125.

Bouaouina S., Zid E. Hadji M., 2000. Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.).CIHEAM, Options Méditerranéennes Série A (40) : 239-243.

Boukhatem A, 1988. Contribution à l'étude de l'influence du phosphogypse sur les propriétés d'un sol salé du bas de Chelif, thèse ING Agro INA, Alger, p95.

Boulghalagh J, 2006. Effet des stress salin et hydrique sur la germination des grains du jojoba (*Simmondsia chinensis* (link) schneides) le premier congrès national sur l'amélioration de production agricole, 24p.

Boulos L, 1999. Flora of Egypt, Azollaceae-Oxalidaceae. Cairo, Egypt: Al-Hadara Publishing, Vol.1, pp. 258–259.

Bousba R, Ykhlef N & Djekoun A, 2009. Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Trticum durum* Desf).World Journal of Agricultural Sciences 5. 5: 609 -616 p.

Calu G, 2006. Effet du stress salin sur les plantes. Comparaison entre deux plantes modèles : *Arabidopsis thaliana* et *Thellungiella halophila*. Master 1, Recherche biotechnologie : du gène à la molécule SpectroSciences, article 23, 10 p.

Chehema Abdelmadjid, (2006 b). Phytomasse et valeur nutritive des principaux plants spontanés vivaces du Sahara septentrional agrairien. Université Kasdi Merbeh Ouargla.

Cheikh M'hamed H, Abdellaoui R, Kadri KM, Ben Naceur, Bel hadj S. 2008. Evaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d'orge (*Hordium vulgare* L.) cultivées en Tunisie: Approche physiologique. *Sci. Tech.*, **28**.

Chinnusamy V, Jagendorf A, 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop science*, 45: 437-448.

Clarke J M, Mclaig T M, 1989. Excised leaf water capacity as an indicator of drought resistance of Triticum genotypes. *Can. J. Plant Sci.* 62: 571-578.

Couture I, 2006. Principaux critères pour évaluer la quantité de l'eau en micro irrigation. Colloque sur l'irrigation, l'eau, source de qualité et de rendement, CRAAQ, Québec: 1-12.

Cushman JC, Meyer G, Michalowski CB, Schmitt JM, Bohnert HJ, 1989. Salt stress leads to the differential expression of two isogenes of phosphoenolpyruvate carboxylase during crassulacean acid metabolism induction in the common ice plant. *Plant Cell* 1:715-725.

Daoud Y & Halitim A, 1994. Irrigation et salinisation au Sahara algérienne, sécheresse, vol (5). N°3, 60-151 pp.

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.

Derkaoui K.M, 2011. Les réponses morphologiques, physiologiques et anatomiques des racines de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) vis-à-vis du stress salin. Mémoire Magister. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique. Spécialité : Biodiversité Végétale Méditerranéenne de l'Algérie Occidentale. 109p.

Diehli R, Bailliere J.B, 1975. Agriculture générale. Paris 400p.

Djerroudi –Zidane O. M, Belkhodja S, Bissati S, Hadjadj, 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 Scientific Research*, **41** : 249-260.

Drevon J.J, Abdelly C, Amarger N, Aouani E.A, Aurag J, Gherbi H, Jebara M, Liuch C, Payre H, Schump O, Soussi M, Sifi B, Trabelsi M, 2001. An interdisciplinary research strategy to improve symbiotic nitrogen fixation and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris*) in salinised areas of the Mediterranean basin. *J. Drouhin.* 91 : 257-268.

- Drouhin G, 1961.** Expérience Algérienne D'utilisation des eaux saumâtres pour l'irrigation avec référence particulière aux sols salins. UNESCO. Paris 150p.
- Durand J.H, 1983.** Les sols Irrigables. Etude pédologique. Presses Universitaire de France. Agence de Coopération Culturelle et Technique. 338 p.
- Dutuit P, Pourrat Y, Dutuit J M, 1994.** La notion de stress de la cellule à l'écosystème. Sécheresse, Vol. 5, N°. 1: 23- 31.
- Eastman PAK, Camm EL, 1995.** Regulation of photo- synthesis in interior spruce during water-stress: changes in gas-exchange and chlorophylli fluorescence. *Tree Physiol* 15: 229-235.
- Eddouks M, Ouahidi M.L, Farid O, Moufid A, Khalidi A, Lemhadri A, 2007.** L'utilisation des plantes médicinales dans le traitement du diabète au Maroc. *Springer Phytothérapie* 5: 194–203.
- El Hamrouni A, 2001.** Conservation des zones humides littorales et des écosystèmes côtiers du Cap-bon. Rapport de diagnostic des sites .partie relative à la flore et la végétation 45. République Tunisienne .Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire agence de protection et d'aménagement du littoral.p6 /38p.
- El Jaafari S, 1993.** Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sècheresse chez le blé. Thèse de doctorat. Univ.Gembloux.Belgique: 214p.
- El Mekkaoui M, 1987:** Etude de la tolérance de NaCl chez le blé dur, tendre et l'orge. E.N.S.A., Montpellier, France
- Essafi, N. E, Mounsif M, Abousalim A. H, Bendaou M. & Brhadda N, 2007.** Effets du stress hydrique sur la valeur nutritive d'*Atriplex halimus* L. *Sécheresse*. Vol. 18, n°2, pp. 123-128.
- F.A.O, 1974.** Definitions of soil map of the word. Bull. 33. 72p.
- F.A.O, 2005.** Global network on integrated soil management for sustainable use of salt affected soils. Rome, Italy: FAO Land and plant nutrition management service. (<http://www.fao.org/ag/agll/spush>).
- FAO, 1988.** Manuel de fixation des dunes. Cahier FAO. serie 18 : Conservation.
- Farchichi A, 1996.** La lutte contre l'ensablement et pour la stabilisation des dunes: Essai de la fixation biologique des dunes en Tunisie présaharienne. *Recherches sur la désertification dans la Jeffara. Rev. Tunis. Geogr.* 12: 49–102.
- Flowers T.J, Troke P.F, Yeo A.R, 1977.** The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual review of plant physiology*, 28: 89-121.

Garcia, A. C.A. Rizzo, J. Uddin, S.L. Bartos, D. Senadhira, T.J. Flowers, A.R. Yeo. 1997. Sodium and potassium transport to the xylem are inherited independently in rice, and the mechanism of sodium: Potassium selectivity differs between rice and wheat. *Plant Cell Environ.*, 20: 1167–1174.

Ghassemi F., Jakeman A.J., Nix H.A., 1995. Salinisation of land and water Resources. Human causes, Extent, Management and case studies. Centre for resource and environmental Studies. The Australian National University. Canberra ACT 0200 Australia.

Girard P., Prost J., Bassereau P., 2005. Passive or Active Fluctuations in Membranes Containing Proteins *Phys. Rev. Lett.* 94, 088102: 60-64.

Godde D, 1999. Adaptation of the photosynthetic apparatus to stress conditions. In: Lerner.

Guerrier G, 1984. Relations entre la tolérance ou la sensibilité à la salinité lors de la germination des semences et les composantes de la nutrition en sodium. *Biologia Plantarum (PRAHA)* Vol. 26, n°1, pp. 22-28.

Hachemi T, 2003. Etude de l'orge et du triticale sur le sol salé et en contrainte hydrique (en serre) à travers des paramètres morpho-physiologique. Thèse ING. Agro Université de Tiaret, p75.

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.

Hamdy A, 1999. Saline irrigation assessment and management for a sustainable use. *Saline irrigation: halophyte production and utilization*, 152-226.

Hameed A, Nasser Sh, Tahira I, Hina S, & Ahsanul M, 2008. Effects of NaCl salinity on seedling growth, senescence, catalase and protease activities in two wheat genotypes differing in Salt tolerance. *Pack J.*, pp: 1043-1051.

Hamza M, 1982. Adaptation physiologique à la salinité des plantes cultivées. *Eco. Bull. Soc. Physiologie.* 169-184 pp.

Haouala F, Ferjani H, Ben EL-Hadj S, 2007. Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca⁺⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, Vol. 11, N° 3 : 235- 244.

Hassani A, Kaid-Harch M, Bouchereau A, 2008. L'effet de doses croissantes de NaCl sur le système racinaire et la régulation stomatique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) et le triticale (*Triticum secale* W.): 45-49.

Heller R, Esnault R, Lance C, 2004. Physiologie végétale, Tome 1- Nutrition, Edit Dunod (6ème édition) . Paris, 332p. ISBN : 2-10-048710-8.

Henin, Grasser & Monnierg, 1970. Le profit cultural l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques, Ed .Masson et Cie, Pp669.

Hernandez S, Deleu C, Larher 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. Vol. 323: 551- 557.

Herrero J, 1992. Dégradation du sol, et salinité associées à l'irrigation, corrections apportées en Aragon In : Foesser C. et J. Robert (Eds). Concilier l'agriculture et l'environnement, Syros-Alternatives. Paris, Pp. 127-138.

Heuer & Feigin, 1993. Interactives effects of Chloride and Nitrate on photosynthesis and related growth parameters in tomatos. photosynthetica. Agro. Israel. 28(4). 549-554 pp.

Hochi R, 1986. Action de la salinité du milieu (NaCl ou Na⁺ So₄) sur les relations hydriques, ioniques et échange gazeux *de plantago maritimal* (Halophyte) et *plantago lannceolatal* (Glycophyte). These. Doc. Ingénieur. Université de paris XIIe. 124p.

Hopkins W G, 2003. Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruscelles: 61-476.

Itai C, 1999. Role of phytohormones in plant responses to stresses.

Jeschke W.D, 1984. K⁺, Na⁺ exchange at cellular membranes, intracellular compartimentation of cations, and salt tolerance. Salinity tolerance in plants, Strategies for crop improvement (ed. R. C. Staples) Wiley, New York: 37- 66.

Kalakhi M, 2005. Etude de l'effet de NaCl (stress salin) sur les paramètres foliaires chez le blé dur, le triticale et l'orge. Thèse ING .Agri. Université de Tiaret, 75p.

Khan M A, Duke Nc, 2001. Halophytes - A resource for the future. Wetlands Ecolo. Manag. 6: 455-456.

Khan M A, Hamid A, Salahuddin A B M, Quasem A, Karim M A, 1997. Effect of sodium chloride on growth, photosynthesis and mineral ions accumulation of different types of rice (*Ovsya sativa*). J. Agronomy and science: 149-161.

Kinet J.M, Benrebiha F.Z, Bouzid S, Lailhacar 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.

Kirti PB, S. Hadi, PA. Kumar, VL. Chopra, 1991. Production of sodium chloride tolerant *Brassica juncea* plants by *in vitro* selection at the somatic embryo level. *Theor. Appl. Genet.*, 83: 233–237.

Lacharme M , 2001. le contrôle de la salinité dans les rizières. Ed. mémento technique de riziculture. France. 17p.

Lahlou M, Badraoui M & Soudi B, 2000. Modélisation de l'évolution de la salinité

Lemzeri H , 2007. « Réponses écophysiologicals de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. gomphocephala* et *S. molle*) soumises à un stress salin ». Thèse de magistère en Ecologie et Environnement. Option : Ecologie végétale. Université Mentouri Constantine. 141p.

Levigner A, Lopez F, Vansuyt G, Berthomieu P, Fourcroy P, Casse-Delbart F, 1995. Les plantes face au stress salin, *Cah. Agri.* 4: 263-273.

Levigner A, Lopez F, Vansuyt G, Berthomieu P, Fourcroy P, Casse-Delbart F, 1995. Biochimie et physiologie végétales, Cnrs-Ura 573, Université Montpellier II, Inra, EnsaM, Place Viala, 34060 Montpellier cedex 1, France (à partir du cahier Agriculture 1995 ; 4 ; 263-73).

Levitt, J. 1980. Responses of plant to environmental stresses. London: Academic Press. 297 p.

MacKinney G, 1941. Absorption light by chlorophyll solutions. *J. Biol. Chem*, vol 140 : pp 315-322.

Maghrani, M, Lemhadri, A, Jouad, H, Michel J.B, Eddouks M, 2003. Effect of the desert plant *Retama raetam* on glycaemia in normal and streptozotocin-induced diabetic rats. *J. Ethnopharmacol*; 87, 21–25.

Maghrani M, Lemhadri A, Zeggwagh N.A, El Amraoui A, Haloui M, Jouad H, Eddouks M, 2004. Effect of *Retamaraetam* on lipid metabolism in normal and recent-onset diabetic rats. *J. Ethnopharmacol*; 90, 323–329.

Maghrani M, Michel J.B, Eddouks, M, (2005b). Hypoglycemic activity of *Retama raetam* in rats. *Phytother. Res*; 19, 125–128.

Maghrani M, Zeggwagh N.A, Haloui M, Eddouks, M, (2005a). Acute diuretic effect of aqueous extract of *Retama raetam* in normal rats. *J. Ethnopharmacol*; 99, 31–35.

Mahnane W, 2010. *Appréciation de la diversité génétique du genre Rétama par les marqueurs biochimiques.* Mémoire de magistère. Ecole doctorale de biotechnologie végétale. Université de Mentouri Constantine Vol 64 : p04.

Masters D.G, Benes S.E, Norman H.C, 2007. Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agri. Ecosys. Environ.* 119 : 234-248.

Meddahi M, Fayens V, Mallani. S.D, 1993. Modélisation de l'évolution de la salinité dans la zone racinaire.

Mermoud A, 2006. Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.

Mezni M, Albouchi A, Bizid E, Hamza M, 2002. Effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la nutrition minérale chez trois variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa*) .*Agronomie.* 22: 283-291.

Mittler R, Merquiol E, Hallak-Herr E, Rachmilevitch S, Kaplan A, Cohen M, 2001. Living under a “dormant” canopy: à molecular acclimation mechanism of the desert plant. *Retamaraetam.Plant J;* 25: 407–416.

Mosbah M, & al., 2007. Characterization of root-noduling bacteria on Retama rætame in arid tunisian soils.*Science direct:* 18(2008) 43-49.

Munns R, James R A, Lauchli R, 2005. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany.* Vol. 57, N°. 5: 1025-1043.

Munns R, Richard A.J, Lauchli A, 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany,* Vol. 57, No. 5, pp. 1025–1043.

Navarro A R, Rubio F, 2006. High-affinity potassium and sodium transport systems in plants *Journal of Experimental Botany.* 57(5):1149-1160.

Nouha T.B, 2012. Sélection précoce pour l'identification de nouvelles sources de tolérance à la salinité chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Mémoire de mastère. Institut National Agronomique De Tunisie. Spécialité : Agronomie et Biotechnologie Végétale. 116p.

Omrani A, 1993. Evolution spatiale de la salinité et du CaCO₃ total et actif de l'horizon de surface dans les sols salés de H'MADNA (Relizane) .Thèse ING ISA de Tiaret.

Orcutt D.M & Nilsen E.T, 2000. *Physiology of plants under stress.* John Wiley ; SonsInc., New York, NY, USA.

- Ortega U, Dunabeitia M, Menendez S, Gonzalez-murua & Majada J, 2004.** Effectiveness of mycorrhizal inoculation in the nursery on growth and water relations of *Pinus radiata* in different water regimes. *Tree physiology* 24: 65-73.
- Ottow E A, Brinker M, Teichman T, Fritz E, Kaiser W, Broské M, Kangasjärvi Jiang X, Polle A, 2005.** *Populus euphratica* Sodium Accumulation, osmotic adjustment by decreases in develops leaf succulence under salt stress. *Plant Physiology* 139 : 1762-1772.
- Ouerghi Z, Zid E, Hadji M, Soltani A, 2000.** Comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum* L.) en milieu salé. In ROYO C., NACHIT MM., DIFONZO N., ARAUS JL., (eds). *Durum wheat improvement in the mediterranean region: New challenges: l'amélioration du blé dur dans la région méditerranéenne: Nouveaux défis.* Zaragoza: CIHEAM. IAMZ: 309-313.
- Ould El Hadj-Khelil A, 2001:** 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). 117 P.
- Panda A.K, Das A.B, 2005.** Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, pp. 324-349.
- Parida A, Das A.B, Das P, 2002.** NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera ariflora*, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol.* 45, 28–36.
- Parida A.K, & Das A.B, 2005.** Salt tolerance and salinity effects on plants: *A.Rev.Ecotoxicol. nviron. Safety*, 60:324-349.
- Phocaidès A, 2008.** Manuel des techniques d'irrigation sous pression 2ème ED. FAO (Fiat, Paris) Rome, Italie. 277p.
- Quezel & Santa, 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie. Tome I.p156-162.
- Rao G, & Rao G R, 1981.** Figent composition and chlonophyllase activity in pigeon pea (*cajamas indicus spreng*) and yingelly (*sesamum indicum L.*) under nacl salinity. *Exp.biol.* 19: 768-770.
- Rasio A, Sorrentinio G, Cedola M.C, Pastore D, & Wittner G, 1987.** Osmotic and elastic adjustment of durum wheat leaves under stress conditions. *Genetic Agr.*41: 427.436 p.
- Saadaoui B et al., 2007.** Etude de la composition et du pouvoir antioxydant des composés phénoliques de quelques espèces végétales de l'aride tunisien. *Revue des régions*

arides. pp.316-321[6 page(s) (article)]. Édition. : Institut des régions arides, Médenine, Tunisie.

Saidi J, 2004. Influence de la phase saline sur les propriétés physiques des matériaux argileux du bas Cheliff. Thèse de Doctorat d'Etat en Science Agronomiques. Spécialité Science du Sol. 181p.

Satti S M. E, Lopez M, AL-Said A, 1994. Salinity induced changes in vegetative and reproductive growth in tomato. Soil Sci. Pant Anal, 501-510 pp.

Schroeder J.I, Allen G.J, Hugouvieux V, Kwak J.M, & Waner D, 2001. Division of Bioogy and Center for Molecular Genetics, University of California, San Diego, La Joua 92093-0 1 16, USA.

Siakhène N, 1984. Effet du stress hydrique sur quelques espèces de luzerne annuelle thèse Ing Agr, INA, El Harrach, 90 p.

Soltani A, Hadji M, Grignon C, 1990. Recherche des facteurs limitant la nutrition minérale de l'orge en milieu salé, Agronomie 10: 857–866.

Soltner D, 1990. Les grandes productions végétales, 17^{ème} édition. Ed science et techniques agricoles ; les Clos lorelle Angers ; Pp35-124.

Tester M, Davenport R, 2008. Tolerance and Na transport in higher plants. Annuals of botany, 91: 503-527.

Thomas J.P, 1968. Ecologie et dynamique de la végétation de la dune littorale dans la région de Djidjelli. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr.nord; 59: 37-98.

Tiercelin J.B., 1998. Traités d'irrigation. Ed tec et doc Lavoisier ; paris.101p.

Trinchant J.C, Boscari A, Spennato G, Van de Sype G, & Le Rudulier D, 2004. Proline Betaine Accumulation and Metabolism in Alfalfa Plants under NaCl Stress. Exploring Its Compartmentalization in Nodules Plant Physiology, Vol. 135, pp.1583-594.

Viégas R.A, & silveira, J.A, 1999. Ammonia assimilation and proline accumulation in younge cashew plante during long term escposure to nall-salinity. Revista brasileira de fisiologia vegetal. Vol. 11, n°3, pp. 153-159.

Vinocur B. & Altman A, 2005: Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. Current Opinion in Biotechnology 1:123-132.

Wang Y, Nil N, 2000. Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase–oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 75, 623–627.

Yokoi S, Beressan H, 2002. Salt Stress tolerance of plants. Working report, USA: 25-33.

Zohary M, 1962. Plant life of Palestine, Israel, and Jordan, Ronald, New York. *Science* 11 may: Vol. 163. no.3515, p.523. DOI:10.1126/science.136.3515.523.

ANNEXE 01

Courbes d'étalonnage

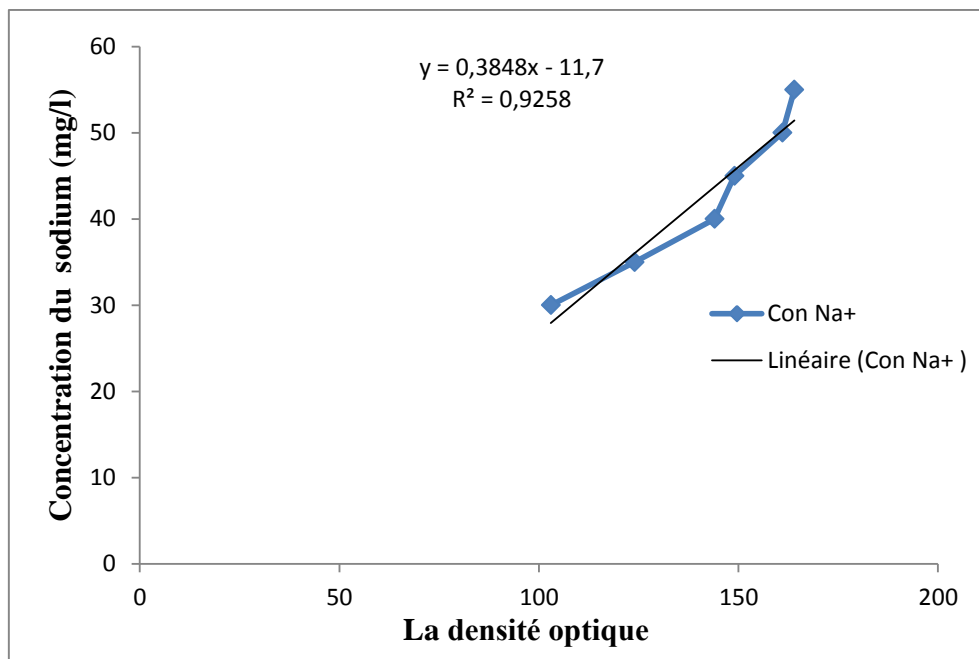


Figure 27 : Courbe étalon du dosage de Sodium.

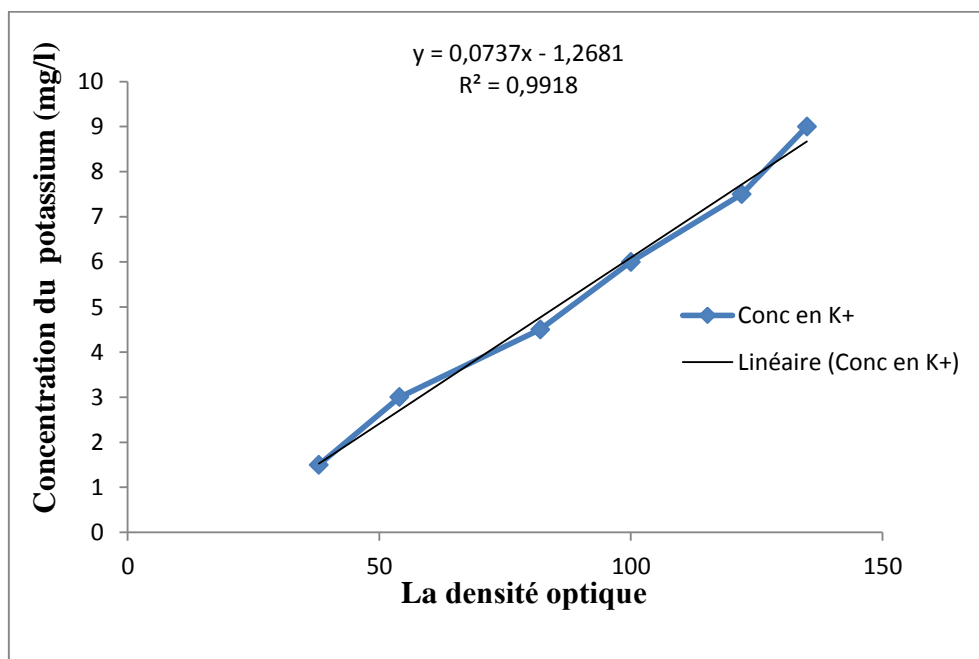


Figure 28 : Courbe étalon du dosage de Potassium.

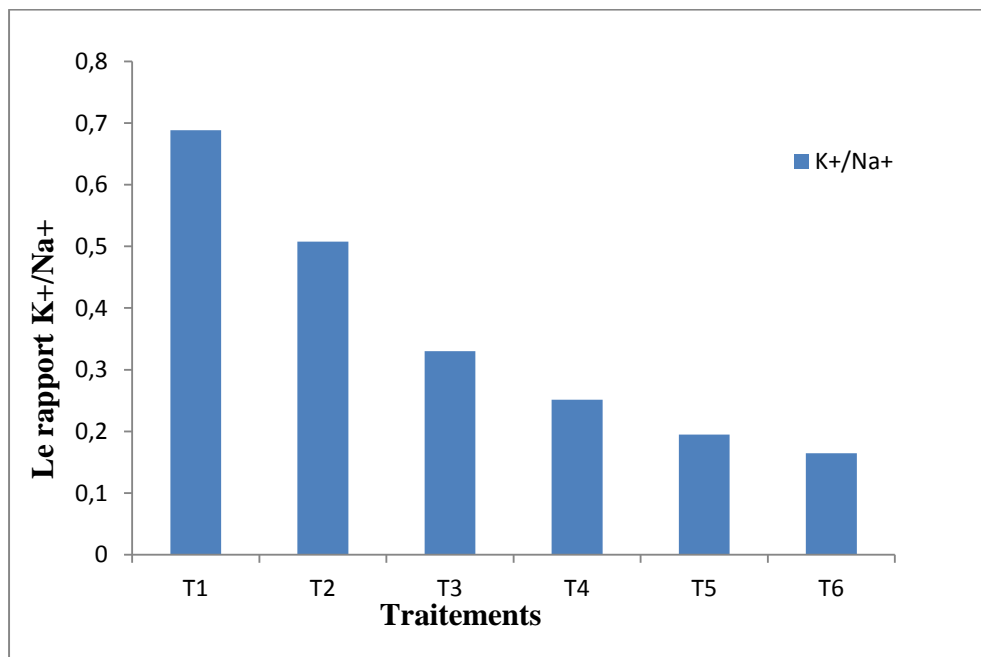


Figure 29 : Le rapport de K⁺/Na⁺ dans les feuilles de *Retama raetamen* fonction des doses de NaCl.

ANNEXE 02

Statistiques descriptives

Traitements / Paramètres	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P<0.05
Hauteur	16.01 ±4,77	18.45 ±4,7	18 ±2,32	21.57 ±5,37	14.15 ±3,57	9.3 ±3,62	P= 0,018
PFR	0.13 ±0,0723	0.08 ±0,0306	0.08 ±0,07	0.14 ±0,0569	/	/	P<0,001
PFTOT	0.41 ±0,0702	0.37 ±0,0862	0.34 ±0,1537	0.40 ±0,135	0.14 ±0,05	0.13 ±0,0361	P=0,009
PSR	0.016 ±0,00289	0.013 ±0,00569	0.011 ±0,00351	0.016 ±0,00493	/	/	P<0,001
PSTOT	0.068 ±0,00473	0.058 ±0,0174	0.056 ±0,013	0.071 ±0,0165	0.073 ±0,01387	0.065 ±0,00872	P<0,001
NF	14 ±2,5	13 ±3,79	10 ±1,033	12 ±1,169	7 ±1,673	5 ±0,983	P<0,001
Prol	0,3103 ±0,0829	0,4282 ±0,0086 9	2.1138 ±0,00001	2.5503 ±0,00003	/	/	P<0,001
Chlo	9.31222 ±0,00016	4.93726 ±0,00018	3.68134 ±0,00024	350134 ±0,00024	/	/	P<0,001
Na⁺	1.16 ±0,00349	1.74 ±0,00129	2.90 ±0,00309	4.09 ±0,00149	4.74 ±0,00121	4.32 ±0,00095	P<0,001
K⁺	0.799 ±0,000081	0.884 ±0,00024	0.957 ±0,00071	1.027 ±0,00035	0.924 ±0,000124	0.710 ±0,00031 5	P<0,001

ANNEXE 03

Matrices de corrélation

Les corrélations entre les paramètres morphologiques et physiologiques

	PFF	PFT	PFR	PFTOT	PSF	PST	PSR	PSTOT	Haut	VCroi	NF
Pro	-0,021 0,934	0,410 0,360	0,233 0,615	0,292 0,525	0,854 0,015*	0,130 0,781	-0,309 0,500	0,567 0,184	0,297 0,191	-0,498 0,256	-0,511 0,241
Chlo	-0,072 0,928	-0,356 0,644	-0,412 0,588	-0,306 0,694	-0,804 0,196	0,047 0,953	0,181 0,819	-0,379 0,621	-0,354 0,116	-0,108 0,892	0,835 0,165
Na⁺	-0,724 0,104	0,718 0,282	0,593 0,407	-0,566 0,242	0,870 0,024*	-0,082 0,896	0,131 0,869	0,808 0,052*	0,425 0,401	-0,461 0,358	-0,649 0,163
K⁺	-0,281 0,589	-0,416 0,584	-0,686 0,314	-0,282 0,588	0,173 0,743	-0,226 0,714	-0,759 0,241	0,206 0,696	0,335 0,516	0,408 0,422	0,228 0,663

Entre les paramètres physiologiques

Entre les paramètres morphologiques

	Na ⁺	K ⁺	Prol		PFF	NF	PST	PSR	VCroi	PSTOT
Chlo	-0,813 0,187	-0,029 0,971	-0,771 0,229	PSF	0,367 0,240	-0,577 0,010*	-0,281 0,353	0,169 0,600		
Prol	0,962 0,038*	-0,136 0,864		PFT	0,602 0,038*	-0,198 0,538	0,772 0,003*			
K⁺	0,091 0,864			PFR	0,711 0,009*	-0,096 0,766				
				Haut					0,266 0,220	0,069 0,808
				PFTOT						0,100 0,693

INTRODUCTION

PARTIE I :

**RECHERCHE
BIBLIOGRAPHIQUE**

Chapitre I :

La Salinité

Chapitre II :

Retama raetam

PARTIE II :

ETUDE

EXPERIMENTALE

Chapitre I :

Matériel et Méthodes

Chapitre II :

Résultats et Discussions

CONCLUSION

Référence
bibliographique

LES ANNEXES