



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE ou INSTITUT : Faculté Des Science

DEPARTEMENT : d'Agronomie

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : ZINELABIDINE Soulef

DOMAINE : Science de la Nature et de Vie

FILIERE : Science Agronomie

OPTION : Amélioration des Plantes et Biotechnologie

Thème

Etude morphologique et physiologique de la tolérance d'une plante steppique « *Retama raetam Forsk.* » à la salinité, cultivée sur un substrat sableux.

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mme Mallem Hamida	MAA	Rapportrice
M ^{lle} Houyou Zohra	MAA	Président
Mr Boutmedjet Ahmed	MAA	Examineur

Juin 2015

Dédicace

A Dieu tout puissant, qui m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes, sans sa miséricorde ce travail n'aura pas abouti.

Je dédie ce modeste mémoire à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à le réaliser.

Mes sincères remerciements et reconnaissances pour mes très chers parents qui m'ont guidé sur le droit chemin tout au long du travail et m'ont apporté un soutien spirituel, moral et matériel, que Dieu les protège.

Pour mes sœurs (fatima, sabrina, wassila, linda, lamisse) C'est grâce à leur encouragement, à leur patience, à leur amour.

Pour mon frère Ahmad qui m'a toujours soutenu moralement pour aboutir à terme de ce travail.

Pour mes amis (chahira, zineb, nor elhouda) pour leur aide précieuse ainsi qu'à tous mes amis et à tout le personnel du laboratoire.

Enfin pour tout les gens qui m'admirent, je dis merci pour tous !!!

SOULEF



Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu, notre créateur pour nous avoir donné la force à accomplir ce travail.

Je tiens à remercier , Mme Mallem hamida , mon enseignante et promotrice, pour avoir accepté de diriger ce travail, qu'elle trouve ici, l'expression de ma profonde reconnaissance, mon immense gratitude et mon grand respect, pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, sa confiance et ses encouragements.

Je tiens à remercier aussi les membres du jury, M^{lle} Houyou Zohra et Mr Boutemdjet Ahmed pour avoir accepté de valoriser ce travail par leur précieuses remarques .

Ainsi qu'à tous les enseignants du département de biologie et d'agronomie qui ont fait de leur mieux afin de nous offrir de bonnes études et qui se sont montrés très compréhensif à notre égard.

J'exprime mes vifs remerciements à toute personne ayant participé ou contribuer de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Zinelabidine Soulef

**Titre : Etude morphologique et physiologique de la tolérance d'une plante steppique
« *Retama raetam* Forsk. » à la salinité, cultivée sur un sol sableux.**

Résumé

Afin de déterminer la gamme de tolérance d'une plante steppique à la salinité, sur un substrat sableux, en pépinière, des plants de *Retama raetam* ont été cultivés durant 90 jours, des concentrations croissantes de l'eau d'irrigation en sels (NaCl) ont été testées à savoir : (1,4 g/l, 2g/l, 4g/l, 6g/l, 8g/l, 10g/l). Les mesures biométriques des paramètres de croissance des plants, les plus élevés ont été enregistré chez les plants traités par (2g/l, 4g/l, 6g/l), les plus faibles valeurs ont été enregistrés chez les plants irrigués par l'eau de (8g/l, et 10g/l). Le traitement (1,4g/l) pris comme témoin a présenté une faible croissance.

Les paramètres physiologiques (le taux de la proline, les sucres totaux, et le taux de chlorophylle), nous ont permit de détecter le milieu salin, le plus toléré pour la plante, c'est le T3 (6g/l) et le milieu le plus stressant c'est le T4 (8g/l)

Mots clés : Salinité, *Retama raetam*, steppe, sable, NaCl

Zinelabidine Soulef

Title : Study morphological and physiological of the tolerance a steppe plant « *Retama raetam* Forsk. » to salinity , cultivated on sandy soil

Summary

To determine the range of tolerance of a steppe plant to salinity on sandy substrate in the nursery, seedling of *Retama raetam* were cultured for 90 days, concentrations of irrigation water salt (NaCl) were tested growth namely (1.4 g / l, 2g / l 4 g / l, 6 g / l 8g / l, 10 g / l). Biometric measurements of plant growth parameters, higher were recorded in plants treated with (2g / l 4 g / l, 6 g / l), the lowest values were recorded in plants irrigated with water of (8g / l and 10g / l). Treatments (1.4 g / l) as a witness in meadows presented low growt.

Physiological parameters (the rate of proline, total sugars, and chlorophyll content), we were allowed to detect the saline environment, the most tolerated for the plant is T3 (6g / l) and the most stressful environment is the T4 (8g / l).

Keywords: Salinity, *Retama raetam*, steppe, sand, NaCl

زين العابدين سلاف

العنوان: دراسة مورفولوجية وفيزيولوجية لتحمل نبتة سهبية « *Retama raetam Forsk.* » للملوحة في تربة رملية

ملخص

لدراسة درجة احتمال نبتة سهبية للملوحة في الرمل داخل مشتلة تمت متابعة زراعة *Retama raetam* لمدة 90 يوم وبعد سقيها بماء نو درجة ملوحيه مختلفة (1,4 g/l, 2g/l, 4g/l, 6g/l, 8g/l, 10g/l) تم اختبار النمو، سجلت القيمة المرتفعة عند النباتات المعالجة (2g/l, 4g/l, 6g/l) والقيمة المنخفضة تم تسجيلها عند النباتات المسقية ب (8g/l, 10g/l) اما النباتات المعالجة (1.4 g / l) سجلت نمو ضعيف،

فيما يخص المقومات الفيزيولوجية (نسبة البرولين, السكريات الكلية, نسبة الكلوروفيل) سمحت لنا باكتشاف وسط ملحي للنبات الأكثر تحمل هو T3 (6g / l) والوسط الأكثر إجهادا هو T4 (8g / l)

كلمات المفاتيح: الملوحة، *Retama raetam* ، السهوب، الرمل، NaCl .

Table des matières

Dédicace	I
Remerciements	II
Table des matières	III
Liste des Tableaux	VIII
Liste des Figures	IX
Liste des abréviations	X
Introduction	1
La première partie : synthèse bibliographique	
1. 1. Définition de la salinité.....	4
1. 2. L'origine de la salinité du sol.....	4
1.2.1. Origine géologique.....	4
1.2.2. Origine marine.....	4
1. 2.3. Origine anthropique.....	4
1. 3. Les types de la salinité.....	5
1. 3.1. La salinité primaire.....	5
1. 3.2. La salinité secondaire.....	5
1. 4. Salinisation des sols dans les régions arides et semin aride.....	5
1.5. Paramètres de caractérisation de la salinité.....	6
1.5.1. La salinité globale.....	6
1.5.2. Le taux d'absorption du sodium(SAR)	6
1.5.3. Le taux de sodium échangeable(ESP).....	7
1.6. Classification des sols sales.....	7
1.6.1. Les sols salins (solontachk).....	7
1.6.2. Les sols alcalins (Solonetz).....	7
1.7. Caractéristiques des eaux salées.....	9

1.8. Répartition de la salinité.....	10
1.8.1. La salinité dans le monde.....	10
1.8.2. La salinité en Algérie	11
1.8. Facteurs de la salinisation des sols.....	14
1.9. Climat.....	14
1.9.1. Source de sels.....	14
1.9.3. Drainage.....	14
1.10. Lutte contre la salinisation des sols.....	15
1. 10.1. Lutte contre la salinisation des sols liée à l’irrigation.....	15
1.10.2. Lutte contre la salinisation des sols liée à la remontée de la nappe phréatique.....	15
1. 10.3. La phytoremédiation	16
1.11. Effets de la salinité.....	17
1.11.1.1 Effets de la salinité sur le sol.....	17
1.11.2. Effets de la salinité sur la végétation.....	18
a- Effet osmotique	18
b- Effet toxique	18
c- Effet ionique.....	19
d- Effet nutritionnel	19
1.11.3. L'effet de la salinité sur la croissance.....	19
1.11.4. L’effet de la salinité sur l’eau et l'Oxygène dans la plante.....	20
1.11.5. L’effet de la salinité sur la germination.....	20
1.11.6. L’effet de la salinité sur l’anatomie de la feuille.....	20
1.11.7. L’effet de la salinité sur le taux des ions.....	21
1.11.8. L’effet de la salinité sur l’ultrastructure du chloroplaste.....	21
1.11.9. L’effet de la salinité sur la photosynthèse.....	22
1.11.10. .morphologique de la salinité sur la croissance du système aérien et racinaire.....	22
1.11.11. Toxicité des sels.....	22

1.12. La tolérance des plantes à la salinité.....	23
1.13. L'effet de la salinité sur les halophytes et les glycophytes.....	25
2.1. Description des retames.....	26
2.2. Présentation de l'espèce.....	26
2.2.1. Origine et distribution.....	26
2.2.2. Description botanique.....	29
2.2.3. Systématique	29
2.3. Importance de <i>Rétama raetam</i>	29
2.3.1. Capacité symbiotique des rétames.....	29
2. 3.2. Importance écologique.....	30
2. 2.3.Importance nutritionnelle.....	30
2.2.4. Importance médicinale.....	30
2.2.5. Importance industriel et économique	31

La deuxième Partie : Etudes expérimentales

1.1. Matériel et méthodes.....	32
1.2. Matériel végétal.....	32
1.3. Conditions expérimentales.....	32
1.3.1. Lieu l'expérimentation.....	32
1.3.2. Containers.....	33
1.3.3. Préparation du substrat de culture.....	33
1.4. Description des différents traitements.....	33
1.4.1. Caractéristiques de l'eau utilisée pour la préparation des différents traitements.....	33
1.4.2. Caractéristique des différents traitements.....	34
1.4.3. Pré germination.....	35
1.4.4. Repiquage des germes.....	36
1.5. Dispositif expérimental.....	36
1.6. Paramètres mesurés.....	37

1.6.1. Paramètres Biométriques.....	37
1.6.1.1. Vitesse de croissance.....	37
1.6.1.2. Nombre des feuilles	37
1.6.1.3. Biomasse fraîche (g).....	37
1.6.1.4. Biomasse sèche (g).....	37
1.6.2. Paramètres physiologiques.....	37
1.6.2.1. Dosage de la chlorophylle.....	38
	38
1.6.2.2. Dosage de la proline.....	39
1.6.2.3. Dosage des sucres solubles.....	
 ChapitreII : Résultat et discussion	
2.1. Evolution de la croissance durant 60jours des traitements et Vitesse de croissance des plants (cm/j).....	40
2.2. Hauteur finale des plants (cm).....	41
2.3. Nombre des feuilles par plants.....	42
2.5. Poids frais et sec racines(g).....	44
2.6. Quantité de la proline ($\mu\text{g/g}$ MF).....	46
2.7. Quantité des sucres solubles ($\mu\text{g/g}$ MF).....	47
2.8. Quantité de la chlorophylle ($\mu\text{g/g}$ MF).....	48
Discussion générale	49
Conclusion.....	54
Référence bibliographique.....	55
Annexe.....	66

Liste des tableaux

Tableau 01 : Caractéristiques principales des sols salins et sodiques.....	8
Tableau 02 : Classe de la salinité des sols.....	9
Tableau 03 : Classification des eaux salines.....	10
Tableau 04 : Superficie affectée par la salinité dans le monde.....	10
Tableau 05 : Le classement des Wilayas touchées par la salinité en fonction du Pourcentage de la S.A.U.....	13
Tableau 06 : Nomenclature de cultures : classées de sensibles à tolérantes à la salinité ainsi que leur rendement en fonction de la concentration du sel dans le sol et dans l'eau (CE sol ; CE eau). Sols salins en Algérie.....	24

Liste des figures

Figure 01 : carte montre la répartition des sols salins du Nord de l'Algérie.....	12
Figure 02 : <i>Retama reatam</i> : (A) : Aspect général, (B) : fleurs et (C) : graines.....	27
Figure 03 : Etape de la germination.....	35
Figure 04 : Schéma du dispositif expérimental (Randomisation Totale).....	36
Figure 05 : Evolution de la hauteur des plants durant 60jours de traitement.....	40
Figure 06 : la vitesse de croissance des plants (cm/j).....	40
Figure 07 : Aspect des plantes (90jours) après semis.....	41
Figure 08 : Hauteur finale des plants (cm).....	42
Figure 09 : Nombres des feuilles par plant.....	42
Figure10 : Poids frais total des plants (g)	43
Figure11 : poids sec total des plants (g).....	43
Figure12 : Poids frais des racines des plants (g).....	44
Figure13 : Poids sec des racines des plants (g)	45
Figure14 : Quantité de la proline en $\mu\text{g}/\text{GMF}$	46
Figure15 : Quantité des sucres soluble ($\mu\text{g}/\text{gMF}$).....	47
Figure16 : Quantité de chlorophylle (a+b) ($\mu\text{g}/\text{g MF}$).....	48

Liste des abréviations

CE : conductivité électrique

CEC : Capacité d'échange cationique

dS/m : decisiemens par mètre

ESP : sodium échangeable

FL : Fraction Lessivée

g/l : gramme par litre

meq/l : milliéquivalent par litre

mg/l : milligramme par litre

ms/cm : milli siemens par centimètre

mmhos/cm : millimhos par centimètre

m³/ha : mètre carrée par hectare

P.F : Poids frais

PS : Poids sec

SAR : absorption du sodium

TDS : quantité totale de sels dissous

µs/cm : micro siemens/centimètre

% : Pour cent

Introduction

Introduction

La steppe algérienne qui représente un milieu de richesse naturelle très importante, subie depuis quelques décennies une dégradation intense, à cet effet l'étude et la valorisation de ses ressources génétiques d'origine végétale s'avère de plus en plus nécessaire, et ceci pour la conservation des écosystèmes et de la diversité biologique (Mahnane, 2010).

Le couvert végétal dans ces régions steppiques ne cesse de se dégrader à cause des contraintes naturelles dont les plus marquantes sont la sécheresse et la salinisation des sols (Mrabet, 2003).

Les sols de ces zones steppiques, qui reposent le plus souvent sur des formations marneuse et gréseuse, en souffrent davantage à cause des contraintes suscitées. Cette dégradation du sol affecte ainsi leur fertilité, d'où leurs réserves en matières organiques et minérales appauvries (Aubert, 1986).

Face à ces différentes contraintes, les plantes steppiques se trouvent confrontées de plus en plus à différents stress et le rendement des steppes, tend à chuter, année après année, tout ces problèmes, affectant l'équilibre et la productivité des steppes, (Rahmoune et *al.*, 2001).

La salinité du sol est l'une des principales contraintes environnementales auxquelles l'agriculture moderne est confrontée. Souvent associée à la sécheresse, elle entraîne une réduction des surfaces cultivables et menace l'équilibre alimentaire mondial (Bouaouina et *al.*, 2011) . En effet, chaque année, les surfaces perdues à cause de la salinité des sols varient autour de 20 millions d'ha dans la planète. Ces surfaces sont ainsi passées de 48 millions à 265 millions d'ha de terres agricoles touchées par la salinité ; et aujourd'hui, les surfaces agricoles affectées seraient de 340 millions d'ha soit 23% des terres cultivées dans le monde (Cheverry, 1995).

Les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, caractérisé par la faible ramification, le faible diamètre des organes, le nombre réduit des nœuds et les réductions du nombre de feuilles et de la longueur de la tige et par conséquent l'augmentation du rapport racine/tige. Une baisse des poids de matières fraîche et sèche est aussi démontrée (Rush et Epstein, 1981).

La salinité provoque le plus souvent un retard dans le développement et d'une manière générale la hauteur, le diamètre des tiges des différentes espèces, ainsi que la grosseur des fruits, diminuent d'une façon importantes avec l'augmentation de la salinité: c'est le cas de riz (Khan et *al.*, 1997).

En Algérie, il n'est recensé aucune étude cartographique fiable et précise permettant de délimiter les zones touchées par la salinité des terres et la quantification de la teneur des sels dans le sol (Benzellat, 2012).

Néanmoins il existe quelques données fragmentaires qui donnent une idée générale sur le phénomène de salinité et de la dégradation des terres (Benzellat, 2012).

La menace de la salinisation des terres est sérieuse, les sols à réhabiliter sont considérables, même en zone agricole, ce qui justifie la détermination exceptionnelle à entre prendre. Il reste en effet, à dégager les techniques et les méthodes d'interventions des acteurs.

La réhabilitation des sols salins se fait en éliminant les sels du profil racinaire et en évitant les remontées capillaires. En zone méditerranéenne, on peut laisser les champs en jachère pendant une année ou deux, avec un labour d'hiver pour favoriser l'infiltration des eaux de pluies, et un labour d'été pour éviter les remontés capillaire. La plus part du temps cela ne suffit pas, et les périmètres touchés par la salinité doivent être drainés pour contribuer à l'élimination des sels du profil cultural (Job, 1998).

Les rétames sont des légumineuses arbustives, possédant à la fois des intérêts pharmacologiques et écologiques, caractérisés par une distribution géographique très diversifiée en partant des pourtours de la côte méditerranéenne jusqu'aux régions semi-arides et arides, ils représentent un moyen naturel de lutte contre la désertification.

Afin de visez la capacité de *Retama raetam* à réhabiliter les sols salins, nous visons par ce travail à étudier la tolérance de *Retama raetam* à la salinité et de délimiter sa gamme de tolérance, durant 90jours de culture sur un sol sableux.

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 croissance et le développement de *Retama raetam*, afin de préciser leurs limites de tolérance à la salinité, ceci par l'étude de quelques paramètres morphologiques et physiologiques.

Notre mémoire est structuré ainsi:

La 1ère partie une synthèse bibliographique qui comporte :

Le chapitre 1 sur la salinité.

Le chapitre 2 : Généralités sur *Retama raetam*.

La 2ème partie : Matériel et méthodes.

La 3ème partie : résultats et discussion générale.

Et enfin une conclusion générale.

Première partie :
Etudes bibliographiques

1.1. Définition de la salinité du sol

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en Na, Ca, Mg sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées (ASLOUM, 1990). Un sol salé indique la prédominance de NaCl.

La salinité des sols et des eaux, constitue un obstacle majeur sur la croissance des végétaux, dans les régions arides et semi-arides.

La salinité est un facteur limitatif majeur de la productivité agricole, ces charges en sels soumettent les plantes à un stress permanent (GUPTA et ABROL, 1990 ; BENNABI, 2005).

1.2. L'origine de la salinité du sol

D'après Cherbuy (1991), la salinisation d'un milieu est liée à la présence d'une source de sel, cette source peut être un matériau géologique, l'eau de mer, une nappe phréatique salée, ou une eau d'irrigation.

1.2.1. Origine géologique

L'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques et magnésiques donne des sels souvent solubles en particulier les carbonates et les bicarbonates et parfois les silicates (Halitim, 1985).

1.2. 2. Origine marine

Selon Halitim (1985), les sels ont également une origine marine, cas d'un contact souterrain entre l'eau de mer et les nappes souterraines. Dans les sols halomorphes maritimes, la NaCl est le sel le plus abondant, dans les sols halomorphes continentaux par contre, on trouve également, le NaCl et d'autres sels (CaCl_2 , Na_2SO_4 , MgCl_2 , etc.).

1.2. 3. Origine anthropique

Selon Dutoit (1996), cette salinisation est la plus importante et la plus rapide, car la salinisation d'origine géologique ou marine est liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence de climat, de l'altération des roches, et de la dynamique des eaux ; dont, ces phénomènes sont très lents, ils sont de l'ordre de millions d'années. Par contre, lors que

l'homme intervient, sa durée et alors de l'ordre de centaines d'années, et entraîne l'apparition de caractères halomorphe sur les sols.

1.3. Les types de la salinité

Selon l'origine des sels accumulés on distingue deux types de salinisation :

1.3.1. La salinisation 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).

1.3.2. La salinisation 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 (Lahlou et *al.*, 2000).

1.4. Salinisation des sols dans les régions aride et semi-aride

Selon Maillard (2001), deux causes seront plus particulièrement responsables de la salinisation des sols dans la région aride et semi-aride: l'utilisation d'eau chargée en sels pour l'irrigation et les remontés de nappe par déversement excessif d'eau sur les terres à irriguer :

- Utilisation d'eau trop chargée en sel : dans les régions arides, l'eau de pluie ne peut pas être considérée comme étant la source principale pour la plante, ses effets étant aléatoires en raison de l'irrégularité du climat. La réussite des productions végétales dans ces régions dépend de l'eau souterraine lorsque cette dernière est la seule source disponible pour l'irrigation, sa trop grande salinité peut causer une accumulation de sels dans la zone racinaire des cultures (Snoussi et Halitim, 1998).

- Dans chaque bassin fluvial, avant l'introduction de pratiques d'irrigation, il existe un équilibre entre la pluviométrie d'une part, et le flux du cours d'eau, le niveau de la nappe, l'évaporation et la transpiration d'autre part.

1.5. Paramètres de caractérisation de la salinité

1. 5. 1. La salinité globale

Selon Rhoades et *al.*, (1992), il y a une relation entre la conductivité électrique et la concentration en sels en milliéquivalents par litre (meq/l) et en milligrammes par litre (mg/l). La relation liant la conductivité électrique (CE) et la quantité totale de sels dissous (TDS) est la suivante :

- $CE_e \text{ (dS/m)} \times 640 = \text{TDS (mg/litre)}$ pour CE comprise entre 0,1 et 5,0 dS/m
- $CE_e \text{ (dS /m)} \times 800 = \text{TDS (mg /litre)}$ pour CE >5,0 dS/m

Il est a noter que la somme des cations doit être égale à la somme des anions. En plus, tous les ions sont exprimés en milligrammes par litre (mg/l ou ppm) et milliéquivalents par litre (meq/l).

$$1\text{mmhos/cm} = 1\text{ ds/m} = \text{ms/cm.}$$

1. 5.1. Le taux d'absorption du sodium (SAR)

Le SAR représente la proportion relative de sodium par rapport au calcium et magnésium, ces deux cations tendent à contrecarrer l'effet dépressif du sodium (Job, 1998).Le SAR s'exprime comme suivant :

(Na^{+2} ; Ca^{+2} ; Mg^{+2}) en meq/l.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{+2} + Mg^{+2})}{2}}}$$

Il est a noté que l'irrigation avec une eau de SAR élevé tend à dégrader la structure physique du sol, quand le sol est sec, il devient alors dur et compacte et de plus en plus imperméable à l'eau, les sols à texture fine spécialement ceux avec une haute teneur en argile gonflante, sont plus sensible à ce problème (Gaucher, 1968).

1. 5. 3. Le taux de sodium échangeable (ESP)

Le taux de sodium échangeable est défini par la relation suivante :

$$ESP = \frac{[Na^+]}{CEC} \cdot 100$$

- $[Na^+]$: sodium adsorbé en meq/100g du sol ;

-CEC : Capacité d'échange cationique en meq/100g de la terre sèche (Lahlou et *al.*, 2000).

1. 6. Classification des sols salés

La formation des sols salés est en relation étroite avec la présence de l'ion sodium Na^+ sous l'une ou l'autre de ses formes: saline ($NaCl$, Na_2SO_4) ou échangeable, parfois les deux. Les sols salés sont riches en sels solubles (Sols salins) ou en sodium adsorbé (sols sodiques ou alcalins) :

1.6.1. Les sols salins (Solontchaks)

Ces sols ont pour principales caractéristiques leur richesse en sels de Sodium neutres ($NaCl$ chlorure de Sodium, Na_2SO_4 sulfate de sodium) mais contenant également des quantités appréciables d'ions chlorures et de sulfates de sodium, calcium et magnésium. Ces sols sont généralement dominants dans les régions arides et semi – arides (Maillard, 2001).

1.6.2. Les sols alcalins (Solonetz)

Les sols alcalins sont riches en sodium échangeable et en revanche pauvres en sels solubles (sels alcalins, carbonates et bicarbonates de sodium, Na_2CO_3 principalement) Les sols alcalins se trouvent plutôt dans les zones semi - aride et sub - humide.

Ces deux types de sols ont en fait des propriétés chimiques et physiques distinctes, d'où des effets sur les plantes, des traitements pour leur remise en valeur, une distribution géographique et une qualité des aquifères adjacents différents (Maillard, 2001).

Tableau 01 - Caractéristiques principales des sols salins et sodiques (Maillard, 2001)

Caractéristiques	Sols salins	Sols sodiques (alcalins)
Chimiques	- Dominés par des sels solubles neutres : chlorures et sulfates desodium, calcium et magnésium.	- Peu de sels solubles neutres mais généralement des quantités appréciables de sels capables d'hydrolyse alcaline telle que les carbonates de sodium (Na ₂ CO ₃)
	- Le pH de l'extrait de sol saturé généralement de moins de 8,2(8,7 dans d'autres ouvrages)	- Le pH de l'extrait de sol saturé de plus de 8,2 (ou 8,7) état teignant souvent 9 ou 10.
	- Conductivité électrique à 25°C ; CE >4Ms/cm	- Conductivité électrique à 25°CCE<4Ms/cm
Physiques	En présence excessive de sels solubles neutres, la fraction argileuse est floculée et le sol est stable.	Un excès en sodium échangeable couplé à des valeurs de pH élevées rend l'argile dispersée et une instabilité structurale du sol.
	La perméabilité à l'eau et à l'air de ces sols est généralement comparable à ceux des sols« normaux ».	La perméabilité à l'eau et à l'air est restreinte. Les propriétés physiques de ces sols s'aggravent avec l'augmentation du pH et du sodium échangeable.
Distribution Géographique	Les sols salins dominant dans les régions arides à semi-arides.	Les sols alcalins se trouvent principalement dans les régions semi-arides et sub – humides.

Tableau 02 : Classe de la salinité des sols (Maillard, 2001)

Classe	Conductivité de l'extrait de sol saturé (dS/m)
Non salins	0 – 2
Légèrement salins	2 – 4
Modérément salins	4 – 8
Fortement salins	8 – 16
Très fortement salins	> 16

1.7. Caractéristiques des eaux salées

Toutes les eaux naturelles contiennent des minéraux dissous et des matières gazeuses (Moughli, 2004 in Ghodbène, 2006), l'accumulation des sels dans une eau dépend de son origine :

- Eau de pluie: gaz atmosphérique dissous et sels cycliques.
- Eau de surface: sa composition et sa concentration varie dans l'espace et dans le temps; Cette variation dépend de :
 - a) la géologie du bassin versant;
 - b) le climat: la neige contient moins de sel que la pluie;
 - c) l'évaporation : la concentration de solution augmente avec l'augmentation de L'évaporation, ceci entraîne une variation de la salinité d'un cours d'eau avec la saison.
- Eaux souterraines : en général, leur composition est assez variable d'une année (ou saison) à l'autre s'il n'y a pas d'interventions notables de l'homme.

La composition et la concentration de l'eau en sels dépendent de la formation géologique

Qu'elle traverse, de sa température et de la composition de l'eau de recharge s'il y en a.

Tableau 03 : Classification des eaux salines

Classe d'eau	Conductivité électrique CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Type de salinité
Classe 1 (C1)	250 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Basse salinité
Classe 2 (C2)	250 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 750 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Salinité modérée
Classe 3 (C3)	750 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 2250 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Haute salinité
Classe 4 (C4)	Au-dessus de 2250 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Très haute salinité

(USDA, 2004 in Hamza, 2014)

1. 8. Répartition de la salinité du sol

1.8. 1. Les sols salés dans le monde

Selon Lasram (1995), la salinité du sol touche environ un milliard d'hectares le monde situés principalement dans les régions arides et semi-arides. Vingt millions d'hectares sont atteints par la salinité chaque année. Les terres irriguées affectées par la salinité correspondent à 27% de la surface irriguée dans le monde soit un tiers des terres agricoles dans les régions arides et semi-arides qui sont affectées par un excès de sels.

Tableau 04 : Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008).

Région	Superficie (millions d'hectares)
Afrique	80,5
Europe	50,8
Amérique du Nord	15,7
Amérique du Sud	129,2
Australie	357,3
Mexique et Amérique centre	2
Asie du Sud Est	20
Asie du centre et du Nord	211,7
Asie du sud	87,6
Total	954,8

1.8. 2. Les sols salés en Algérie

Les sols salés sont très répandus en Algérie essentiellement dans les zones arides et semi-arides; des travaux effectués par différents auteurs montrent que la majorité des sols agricoles en Algérie sont affectés par les sels (Durand, 1958; Haltim, 1985). De façon générale « les sols sodiques en Afrique du Nord proviennent principalement d'une action de la mer (pas actuelle) ou de la présence de dépôts lagunaires salés et gypseux répartis dans l'échelle stratigraphique depuis le Trias jusqu'au Quaternaire ».

En Algérie d'après Szablocs (1989), 3,2 million d'hectares subissent à des degrés de sévérité variable, le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient. Ce phénomène est observé dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays (Mina, Cheliff, Maghnia) dans les hautes plaines de l'Est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), aux abords des Chotts et de Sbkhass (Chott Ech Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhass d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazhrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc...), (figure 01 et tableau 05)

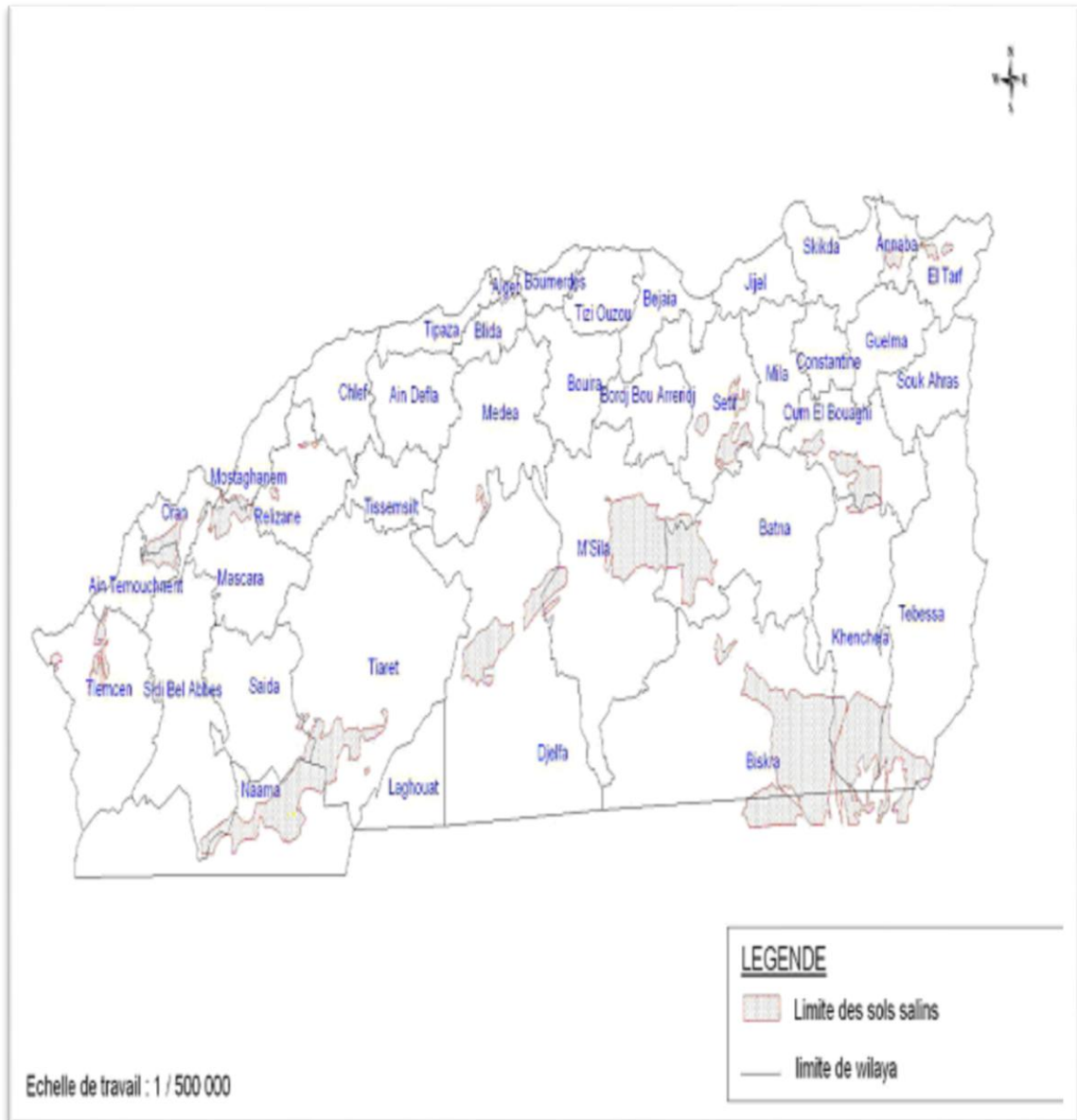


Figure 01: La répartition des sols salins du Nord de l'Algérie (Benzellat, 2012)

Tableau 05: le classement des Wilayas touchées par la salinité en fonction du pourcentage de la S.A.U(Benzellat, 2012)

Wilayas	S.A.U (ha)	Superficie affectée par la salinité	% de la S.A.U affecté par la salinité
Tamanrasset	2510	1445	57.57
Ouargla	17390	9850	56.64
Ghardaïa	7930	3284	41.41
Bechar	13250	2249	16.97
Illizi	570	60	10.53
Djelfa	67760	6250	9.22
Relizane	241670	20000	8.28
Ain temouchent	18350	15000	8.14
Tébessa	231750	13000	5.61
Adrar	14990	780	5.20
Biskra	151530	7272	4.80
Khanchla	177900	4480	2.52
Mascara	328740	6475	1.97
Alger	7940	150	1.89
Mostaganem	131730	1977	1.50
Naama	4150	62	1.49
Laghouat	487740	800	1.48
Batna	85860	5100	1.05
Oran	188620	850	0.99
Cheliff	183860	1490	0.79
Guelma	22150	1283	0.70
Mila	72090	100	0.45
Boumersès	306480	192	0.27
Saida	615340	700	0.23

1.9. Facteurs de la salinisation des sols

1.9.1. Climat

Dans les régions à climat humide, les sols salins sont pratiquement inexistant ; la profonde percolation des eaux de pluie permet le lessivage des sels solubles. Dans les régions semi-arides, le lessivage et le transport des sels solubles sont faibles.

L'évapotranspiration entraîne une concentration des sels dans la zone racinaire et dans la couche superficielle. Dans ce cas, la masse totale des sels reste constante dans le profile du sol et le volume d'eau diminue ce qui implique une augmentation de la concentration des sels. Un paramètre qui rend compte de l'intensité de l'évapoconcentration est le FL (Fraction Lessivée). (Lahlou et *al.*, 2000).

$$FL = \frac{V_{Eau\ de\ drainage}}{V_{Eau\ d'irrigation}} \approx \frac{CE_{Eau\ d'irrigation}}{CE_{Eau\ de\ drainage}}$$

1.9.2. Source de sels

Le sel provient des minéraux de la croûte terrestre. Les agents atmosphériques décomposent les minéraux et libèrent le sel sous une forme soluble. L'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques, magnésiens, donne des sels souvent solubles, en particulier carbonates et bicarbonates, parfois silicates, de ces métaux.

L'utilisation d'eaux contenant 1g de sels solubles au litre apporte, en culture maraîchère, utilisant 8000 m³/ha tonnes de sel à l'hectare (Durand, 1983).

1.9.3. Drainage

La nécessité du drainage des sols irrigués apparaît dans les conséquences de l'engorgement par l'eau des sols lourds pour lesquels l'équilibre hydrique naturel est rompu par l'apport des irrigations (Benzellat, 2012).

Seuls les sols bien drainés, à texture plus grossière, sont non salins. Bien que les eaux fluviales utilisées pour l'irrigation n'aient que des teneurs assez faibles en sels, on considère que c'est le manque de drainage qu'a provoqué la salure des sols, dans l'antiquité comme de nos jours (Benzellat, 2012).

1.10. Lutte contre la salinisation des sols

1.10.1 Lutte contre la salinisation des sols liée à l'irrigation

Selon Bouchoukh (2010), la prévention par le drainage des terres irriguées permet d'éviter la concentration des sels qui diminueraient les potentialités productives de terres irriguées mais génère des effluents qu'il faut gérer. Les externalités associées à la salinisation ne sont pas immédiates; en général, il faut au moins une décennie pour qu'elles se manifestent (baisse des rendements...)

La réhabilitation des terres salinisées, cette opération est coûteuse, elle peut représenter de 65% à 100% des coûts d'investissements. Elle est parfois impossible techniquement.

Lorsque l'eau d'irrigation utilisée est saumâtre, les solutions curatives possibles sont :

- a) l'augmentation de la fréquence des irrigations et l'accroissement de l'apport d'eau aux plantes en considérant les besoin de lessivage et/ou l'association de différentes sources d'eau;
- b) la réhabilitation par modification des pratiques culturales;
- c) le drainage de surface;
- d) le drainage artificiel souterrain vertical;
- f) le drainage artificiel souterrain horizontal.

1.10.2. Lutte contre la salinisation des sols liée à la remontée de la nappe phréatique

Selon Anonyme, (2006), l'abaissement du niveau de la nappe grâce à :

- a) la surélévation des terres;
- b) un système de drainage artificiel souterrain horizontal;
- c) la réhabilitation par modification des pratiques culturales: jachère et travail du sol, utilisation de plantes résistantes à la salure.
- d) Le bio drainage

1.10.3. 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. La phytoremédiation comprend plusieurs techniques : la phytoextraction, la phytovolatilisation, la phytostabilisation, la phytodégradation et la rhizofiltration (Aoun, 2009).

Plusieurs études ont identifié des espèces végétales hyper accumulatrices, 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)

A titre d'exemple, une approche réalisée en Tunisie a consisté à déterminer les effets de la Pré-culture des halophytes sur la croissance de glycophytes sur le même sol. Les sols ayant servi à la culture des halophytes seront utilisés pour cultiver des glycophytes. Trois plantes ont été retenues. L'orge, glycophytes tolérante, succèdera aux halophytes. On utilisera par la suite une légumineuse fourragère, *Medicago sativa*, espèce moyennement sensible au sel et enfin le Haricot ou le Pois Chiche, réputés très sensibles au sel. La comparaison des croissances des plantes cultivées sur les deux types de pots (témoins, et support des halophytes dans l'expérience précédente) permettra d'évaluer l'efficacité biologique de ce procédé de désalinisation. Des dosages de Na^+ et Cl^- dans les différents organes permettent éventuellement d'évaluer l'effet des changements attendus de disponibilité de ces ions entre les deux sols.

Les résultats ont montré que sur la base de plusieurs paramètres (croissance, nutriments minérale et hydrique), les plantes cultivées sur sols salinisés ayant servi au préalable aux cultures des halophytes sont significativement plus productives par comparaison (Abdelly, 2006).

1.11. Effets de la salinité

1.11.1. Effets de la salinité sur le sol

Au cours des échanges cationiques entre la solution du sol et le complexe adsorbant, les cations bivalents sont adsorbés préférentiellement aux monovalents. L'enrichissement du complexe d'échange en sodium n'est donc possible que lorsque cet élément est présent en quantité importante dans la solution du sol (Bolaine, 1972).

En milieu dilué, les ions bivalents seront plus attirés par les argiles que les ions monovalents, le complexe argileux se saturera donc d'abord en Ca^{+2} et Mg^{+2} , ces cations à charge multiples forment des ponts entre les feuilles d'argiles qui flocculent. Au contraire, un excès d'ions monovalents, presque toujours Na^{+2} , produit une dispersion des argiles.

La sodication et la saturation partielle des argiles par l'ion Na^{+} qui occupe sur les sites d'échange une place prépondérante par rapport aux ions bivalents Ca^{+2} et Mg^{+2} (Job, 1998).

Les sels ont le pouvoir de modifier la structure du sol à la suite de la présence des fortes teneurs de sodium sur le complexe adsorbant. A l'état sec, les sols ayant un taux élevé de sodium échangeable, ont une structure apparente dense et compacte. En période humide, l'argile se disperse suite à la diminution de la cohésion. Tout fois cette cohésion peut s'établir si la solution du sol est plus concentrée et faisant apparaître des liens entre les cations échangeables et les solubles (Halitim, 1988).

Dans la pratique ; les argiles flocculés présentent une bonne cohésion et une bonne structure, facilitant le travail du sol et son aération. Au contraire, les argiles dispersées restent plastiques dans une large gamme d'humidité ce que ne facilite pas le travail du sol. Elles ont de plus faible perméabilité une mauvaise cohésion ce qui rend l'irrigation difficile (Job, 1998).

Egalement, la diminution de la perméabilité des sols salés est la conséquence directe de la dispersion des colloïdes sous l'effet défloculant de sodium en obstruant les pores existants dans le sol (Cherbuy, 1991).

En outre, la présence de ces sels transforme profondément l'activité biologique du sol et donc la nature des produits humiques formés ainsi que le cycle Biogéochimique des éléments minéraux (Aubert, 1983).

1.11.2. Effets de la salinité sur la végétation

La première difficulté d'une plante en milieu salin est donc d'assurer son approvisionnement en eau. Pour cela, il faut que la plante puisse ajuster la pression osmotique de ses tissus par rapport à la pression osmotique de la solution du sol. Ce phénomène, nommé ajustement osmotique, permet à la plante d'assurer une hypertonie constante (Song *et al.*, 2006).

Selon les espèces, l'effet dépressif des sels peut être de nature osmotique ou toxique (Debez *et al.*, 2001).

a) Effet osmotique

On appelle osmose, la diffusion (le passage) de l'eau ou de solvant lorsque deux liquides de concentrations différentes sont séparés par une membrane, (Debez *et al.*, 2001), l'élévation de la pression osmotique est donc proportionnelle à la quantité des sels dissous dans une solution ; et elle peut être représentée selon Job, (1998), par la relation suivante :

$$W_{os} = k \cdot CE$$

- W_{os} : Pression osmotique en atmosphère

- K : Est égale 0,36 ;

- CE : Conductivité électrique en dS/m.

Lorsque la pression osmotique du milieu externe (solution du sol) s'élève par la présence des sels solubles, elle peut dépasser rapidement celle de suc cellulaire des racines ; l'alimentation en eau du végétal devient difficile sinon impossible et les diverses fonctions physiologiques étant alors bloquées ; le végétal s'arrête de croître et flétrit. Dans le même sens, les stades de germination des jeunes plantules se conduisent très difficilement ou inhibés totalement (Bolin, 1974)

b) Effet toxique

La salinité attaque les plantes par la toxicité des sels spécifiques (en particulier le chlore, le sodium et le bore), en effet ces sels peuvent agir sur les membranes superficielles des racines des végétaux. En plus, la présence du NaCl en fortes concentrations inhibe principalement le métabolisme cellulaire et la photosynthèse par l'imposition d'un stress osmotique sur la cellule et par la toxicité du Na^{2+} et/ou Cl^{-} dans le cytoplasme, la

déficience en certains ions comme le potassium, calcium, nitrate, phosphore et sulfate (Bolyn, 1974).

En revanche, Amtmann et Sanders (1999), ont indiqué que la faible fixation du CO₂ et l'inhibition de la synthèse de protéines constituantes probablement des effets secondaires du stress salin.

C) Effet ionique

La salinité peut provoquer un déséquilibre nutritif qui résulte suite à une perturbation du transport des solutés. En effet, la salinité limite l'absorption et le transport de K⁺, Ca²⁺ et d'autres nutriments nécessaires à la croissance comme PO₄³⁻ et NO₃⁻ (Ballestros et *al.*, 1997 ; Parida et Das, 2005).

Cette limitation résulte d'un antagonisme de Na⁺ vis-à-vis des cations minéraux indispensables comme K⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺ ; et de Cl⁻ vis-à-vis des autres anions (Leveigneron et *al.*, 1995). Le stress salin s'applique plutôt à un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na⁺ et Cl⁻. Par exemple, le sel influe aussi sur le transport de potassium dans les différents organes de la plante. Chez quelques plantes sensibles, le sel favorise le transport de K⁺ vers les feuilles (Zid *et al.*, 2008).

d) Effet nutritionnel

La salinité n'est pas une simple affaire de concentrations élevées de Na⁺ et de Cl⁻. Le calcium, le sulfate, les carbonates peuvent être présents avec le bore à des concentrations excessives. En même temps, d'autres nutriments, particulièrement le phosphore et l'azote, peuvent ne pas être présents ou disponibles en quantités suffisantes pour permettre des taux de croissance élevés. 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 phosphate et le sulfate (Leveigneron et *al.*, 1995). Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible de la réduction de croissance sur milieu riche en sel, lorsque des ions essentiels comme K⁺, Ca²⁺ ou NO₃⁻ deviennent limitants.

1.11.3. L'effet de la salinité sur la croissance

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. Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles,

tiges et racines (Chartzoulakis et Klapaki, 2000). La salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire chez la tomate. Le taux élevé de NaCl se manifeste par une croissance dans la biomasse des racines, tiges et feuilles et une augmentation dans le ratio partie racinaire/partie aérienne chez le coton.

1.11.4. Effet de la salinité sur l'eau et l'oxygène dans la plante

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

1.11.5. L'effet de la salinité sur la germination

Sous une concentration élevée en NaCl, la germination diminue. Cette diminution peut être expliquée par l'incapacité de la graine à absorber des quantités d'eau nécessaire au déclenchement du processus de la germination et/ou à l'intoxication de l'embryon par l'excès de NaCl (Bliss et *al.*, 1986).

L'effet de la salinité peut être évalué par la réduction de la vitesse de germination comme le cas des tubercules de pomme de terre ou la germination peut être retardée de 3 à 7 jours selon le degré de salinité (Leveigneron et *al.*, 1995) et aussi selon le stade de culture comme la luzerne qui est plus tolérante à la salinité au stade adulte qu'au stade de la germination.

En plus, il est difficile de relier la tolérance à la salinité au moment de la germination à l'écologie des plantes. A titre d'exemple, le test de quatre espèces de graminées halophytes qui sont *Ammophila arenaria*, *Corynephorus articulatus*, *Koeleria phleoides* et *Aeluropus litoralis* cultivés au sud tunisien, montrent que ces espèces tolèrent une concentration 3g/l de NaCl mais au-delà de 6g/l il y a une diminution de la capacité et de la vitesse de germination (Lachiheb et *al.*, 2008).

1.11.6. L'effet de la salinité sur l'anatomie de la feuille

La salinité cause une augmentation de l'épaisseur de l'épiderme, l'épaisseur du mésophyle, la longueur des cellules palissadiques le diamètre des cellules palissadiques dans les feuilles de l'haricot, du coton et de la triplex (Longstreth et Nobel, 1979 in Parida et Das, 2005). La salinité réduit aussi l'espace intercellulaire dans les feuilles (Delphine et *al.*, 1998 in Parida et Das, 2005).

Le stress salin cause (1) le développement de la vacuolisation et un gonflement partiel du réticulum endoplasmique, (2) le gonflement de la mitochondrie, (3) la vésiculation et la fragmentation du tonoplaste et (4) la dégradation du cytoplasme par le mélange de la matrice cytoplasmique et vacuolaire des feuilles de la patate douce (*Ipomoeabatatas*) (Mitsuya et al., 2000 in Parida et Das, 2005).

1.11.7. L'effet de la salinité 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 (Khan, 2001 in Haouala et al., 2007). 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).

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes: la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique.

L'accumulation des ions Na^+ affecte l'absorption de K^+ et ceci en fonction de la concentration du premier élément, cependant, la présence de Na^+ en faible concentration peut augmenter l'absorption de K^+ , tandis qu'une concentration élevée en Na^+ diminue l'absorption de K^+ chez le riz (Levitt, 1980 in Haouala et al., 2007) et la canne à sucre (Nimbalkar, Joshi, 1975 in Haouala et al., 2007). Cette absorption peut même s'arrêter complètement chez le haricot (Hamza, 1977 in Haouala et al., 2007) et le laurier rose (Hajji, 1980 in Haouala et al., 2007) cultivés en présence de chlorure de sodium (NaCl) à 12 g.l-1.

1.11.8. L'effet de la salinité sur l'ultrastructure du chloroplaste

Chez les plantes traitées avec le NaCl, la microscopie électronique a montré que la structure du thylacoïde du chloroplaste devient désorganisée, le nombre et la taille des plastoglobules augmentent et le taux d'amidon diminue (Hernandez et al., 1999 in Parida et Das, 2005). Dans le mésophylle de la patate douce (*Ipomoeabatatas*), les membranes des thylacoïdes sont gonflées et la plupart sont perdues sous un stress salin sévère.

1.11.9. L'effet de la salinité sur la photosynthèse

Comme le stress salin affecte la croissance donc affecte la photosynthèse (on peut penser que la baisse de la croissance notée chez les plantes stressées est due à une baisse de la photosynthèse), il a des effets à long et à court terme sur la photosynthèse. (Parida et Das, 2005) ont apporté qu'après quelques heures à deux jours de l'exposition à un stress salin on note qu'il y a un arrêt complet de l'assimilation du carbone à cause de l'accumulation des sels dans les feuilles. La diminution de la vitesse photosynthétique est une conséquence de la déshydratation des membranes cellulaires, la toxicité du sel, l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture des stomates et le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique.

1.11.10. Morphologique de la salinité sur la croissance du système aérien et racinaire

La réponse des plantes au stress salin varie selon les espèces, les organes, la durée de traitement, la concentration saline ainsi que la nature des effets du sel (Martinez et Laichli, 1993).

La croissance serait réduite par une grande viscosité du cytoplasme sous l'effet de NaCl. En effet, un faible écoulement cytoplasmique diminue la vitesse de transport des métabolites dans la cellule, réduisant ainsi l'activité métabolique aboutissant à un ralentissement de la croissance (Mezni et *al.*, 2002).

La réduction de la croissance se manifeste par la diminution du nombre et de la longueur des entre-nœuds (Stragomov, 1964) et par la faible ramification, la diminution du diamètre des racines et des tiges. Les parties aériennes sont nettement plus sensibles que les racines.

1.11.11. Toxicité des sels

Les cultures sont susceptibles de souffrir de la toxicité des sels. Les chlorure, sodium et bore sont absorbés par les racines et transportés jusqu'aux feuilles dans lesquelles ils s'accumulent. A des taux nocifs, ils conduisent à une nécrose et une brûlure des feuilles. D'autres symptômes de toxicité incluent une chute des feuilles prématurée, une croissance réduite et un rendement diminué. En effet, les ions Na⁺ et Cl⁻ accumulés dans les espaces intercellulaires provoquent des nécroses sur les parties aériennes (Levigneron et al, 1995).

1.12. La tolérance des plantes à la salinité

Deux grandes stratégies de résistance au sel étaient connues chez les plantes : limiter l'entrée de sodium au niveau des racines ou séquestrer le sodium au niveau des feuilles. Un nouveau mécanisme de tolérance au sel : la plante protège ses feuilles, donc sa capacité de photosynthèse, en ré-exportant le sodium des feuilles vers les racines par le flux de sève descendant, de façon à rendre possible une ré-excrétion dans le sol. Les chercheurs ont identifié le gène qui permet ce transport de sodium des feuilles vers les racines chez l'espèce modèle *Arabidopsis thaliana*. La modification de ce gène affecte fortement la résistance de la plante au sel. Il est donc raisonnable de penser que l'on pourra renforcer cette résistance en augmentant l'expression de ce gène, (Berthomieu, 2003).

A l'échelle de la plante entière, les ions chlorure et sodium entrent par les racines, sont véhiculés par la sève xylémique jusqu'aux tiges et feuilles. Là, ils sont stockés (plantes inclusives), soit au contraire très peu retenus et mobilisés par la sève phloémique jusqu'aux racines (plantes exclusives) (Denden, 2005).

La tolérance de la salinité est l'habilité des plantes à croître et compléter leur cycle de vie sur un substrat contenant la forte concentration de sel soluble. Les plantes qui peuvent survivre sur des concentrations élevées de sel dans la rhizosphère et croître anormalement sont appelées halophytes. Dépendant de leur capacité à tolérer le sel, les halophytes sont caractérisées par une faible diversité morphologique et taxonomique avec une vitesse relative de croissance qui augmente jusqu'à 50% de l'eau de mer, ou les facultatives sont trouvées dans des habitats de salinité moindre tout au long des frontières entre les montagnes salines et non salines et sont caractérisées par une plus grande diversité physiologique qui leur permet de faire face à des conditions salines et non salines.

Les plantes développent un nombre important de mécanismes biochimiques et cellulaires pour faire face au stress salin. Les stratégies biochimiques comprennent: (1) l'accumulation sélective ou l'exclusion des ions, (2) le contrôle de l'absorption racinaire des ions et leur transport dans les feuilles, (3) la compartimentation des ions au niveau cellulaire et au niveau de toute la plante, (4) la synthèse de solutés compatibles, (5) le changement dans le chemin de la photosynthèse, (6) l'altération de la structure membranaire, (7) l'induction des enzymes antioxydatives et (8) l'induction des hormones végétales.

Tableau 06: Nomenclature de cultures : classées de sensibles à tolérantes à la salinité ainsi que leur rendement en fonction de la concentration du sel dans le sol et dans l'eau (CE sol ; CE eau) en (ms/cm) (Insid 2008)

Culture	Sensibilité à la salinité	RDT des cultures			
		100 %		75 %	
		C.E Sol	C.E eau	C E sol	C E eau
Luzerne	Modérément Sensible	2,00	1,30	5,40	3,60
Carthame	Tolérant				
Sorgho	Tolérant	6,80	4,50	8,40	5,60
Tournesol	Sensible				
Soja	Tolérant	5,00	3,30	6,30	4,20
Betterave Sucre	Tolérant	7,00	4,70	11,00	7,50
Canne à sucre	Modérément Sensible	1,70	1,10	5,90	4,00
Blé	Tolérant	5,70	3,80	10,00	6,90
P. D. Terre	Sensible	1,70	1,10	3,80	2,50
Tomate	//	2,50	1,70	5,00	3,40
Poivron	//	1,50	1,00	3,30	2,20
Haricot	Sensible	1,00	0,70	2,30	1,50
Chou	Modérément Sensible	1,80	1,20	4,40	2,90
Epinard	Modérément Sensible	2,00	1,30	5,30	3,50
Oignon	Sensible	1,20	0,80	2,80	1,80
Agrume (orange)	Modérément Sensible	1,70	1,10	3,30	2,20
Olivier	Modérément Tolérant				
Raisin	Sensible	1,58	1,00	4,10	2,70
Mais Fourrage	// //	1,80	1,20	5,20	3,50
Plein champ		1,70	1,10	3,80	2,50
Arachide	// //				
Coton	Tolérant				
Pastèque	Modérément Sensible				
Orge	Tolérant	8,00	5,30	13,00	8,70
Laitue	Modérément Sensible	1,30	0,90	3,20	2,10
Carotte	Sensible	1,00	0,70	2,80	1,90
Betterave rouge	Modérément Tolérant	4,00	2,70	6,80	4,50
Prunier	Modérément Sensible	1,50	1,00	2,90	1,90
Poirier	//				
Pêcher	//	1,70	1,10	2,90	1,90
Citronnier	//				
Abricotier	//	1,60	1,10	2,60	1,80
Pommier	//				
Amandier	//	1,50	1,10	2,80	1,90
Fève	Modérément Sensible	1,50	1,10	4,20	2,00
Grenadier	Modérément Tolérant				
Aubergine	Modérément Sensible				
Concombre	//				
Citrouille	Modérément Tolérant	4,70	3,10	7,40	4,90
Avoine	//				

1.13. L'effet de la salinité sur les halophytes et les glycophytes

Selon Calu, (2006), les plantes présentes sur des surfaces salées vont se retrouver exposées à un stress hydrique important, contre lequel elles devront lutter pour survivre. Dans le cas d'un stress salin, une double problématique se pose à l'organisme végétal: d'un côté la présence du sel, en abaissant le potentiel hydrique du sol, menace l'approvisionnement en eau de la plante. De l'autre, l'absorption du sel dans les tissus menace le bon fonctionnement physiologique des cellules. Suivant la production de biomasse des végétaux en présence de sel, quatre grandes tendances ont été discernées:

Les halophytes vraies: dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sels. Ces plantes présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par ces conditions: *Salicornia europaea*, *Sueda maritima*...

Les halophytes facultatives, montrant une légère augmentation de la biomasse à des teneurs faibles en sels: *Plantago maritima*, *Aster tripolium*...

Les non-halophytes résistantes, supportant de faible concentration de sel: *Hordeum sp*...

Gama et al., (2007), ajoutent que les glycophytes, sensibles à la présence de sel: *Phaseolus vulgaris*, *glycine max*. La réduction dans le taux de la chlorophylle observé avec l'intensité du stress salin pourrait être attribuée aux conditions dans lesquelles se trouvent les stomates car durant le stress salin, la concentration du CO₂ diminue dans le chloroplaste à cause de la réduction dans la Conductance stomatique.

2.1. Description 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; Shallaby et al., 1972 in Bouredje, 2005).

2.2. Présentation de l'espèce

2.2.1. Origine et distribution

Les rétames sont caractérisés par une large distribution géographique, originaires du Nord-Ouest Africain et probablement des îles Canaries.

Rétama monosperma se localise au sud de l'Europe, sur les pourtours du bassin méditerranéen, et le long de la côte de l'Espagne (Andalousie), Portugal, Italie, et dans le désert sud asiatique (Quezel et Santa, 1962 ; Beniston, 1985).

En Algérie les rétames occupent une surface considérable du Nord vers le Sud (Bouredje, 2005), *Rétama monosperma* colonise de larges étendues sur le littoral oranais, le littoral algérois, et le long du littoral de la région de Jijel.

Retama raetam est localisé dans le sud oranais, sud de Djelfa, Ain Safra, Touggourt, au centre de la Kabylie, à l'est de Biskra également à Ouargla (Allal-benfakih, 2006), c'est une plante C₃ commune des écosystèmes arides qui entourent la méditerranée cette plante utilise comme stratégie d'acclimatation une dormance partielle pour résister aux longues périodes de sécheresse (Mittler, 2000).

Selon Zohary (1962), *Rétama sphaerocarpa* se trouve principalement en petite Kabylie, Ghardaïa, Djebel Amour et les plaines de Batna.

2.2.2. Description botanique

Les rétames sont des plantes pérennes, ce sont des arbustes monoïques, pouvant atteindre jusqu'à 3 mètres de long, caractérisés par un tronc trapu et court, portant de nombreux rameaux dense, arqués, flexibles et retombants, fortement sillonnés et peu feuillés, (voir la figure) les jeunes arbustes sont soyeux d'un vert argenté à gris argenté (Beniston, 1985 et Ozenda, 1958). 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 (Bouredje, 2005).

Les feuilles sont très caduques, les inférieurs sont trifoliolés les supérieurs sont simples et unifoliées, elles sont minuscules, alternes et linéaires, qui ne demeurent en place que quelques jours (Quezel et Santa, 1962).

Selon le même auteur, les fleurs, unisexuées sont en petites grappes latérales, réparties sur de courts racèmes, avec petite calice bilabié, à lèvres supérieurs profondément bidentées, pétales à onglets plus ou moins soudés au tube staminal, étendard dressé avec 10 étamines monadelphes, elles sont de deux couleurs selon l'espèce :

- ❖ Blanches pour *Retama monosperma*. et *Retama raetam*. :
- ❖ Jaunes pour *Retama sphaerocarpa*.

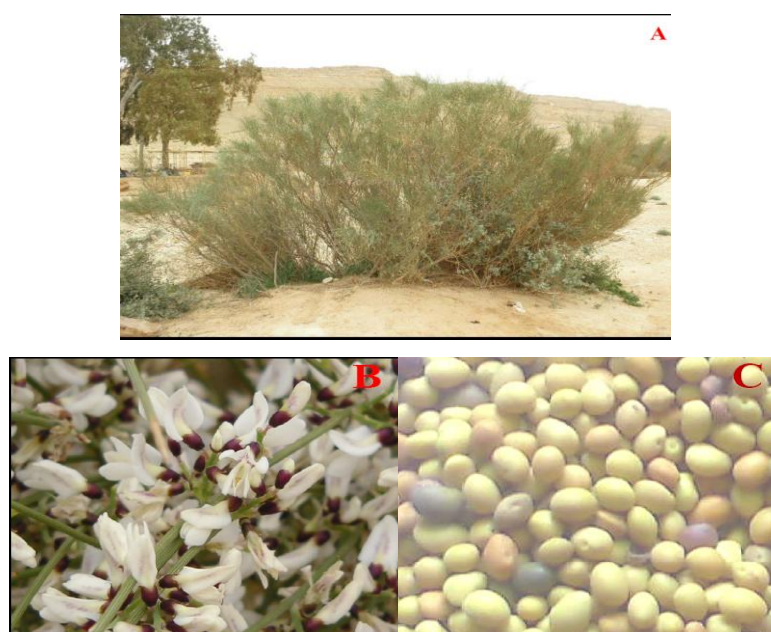


Figure 02 : *Retama raetam* : (A) : Aspect général, (B) : fleurs et (C) : graines
(Souaï, 2010)

La floraison est longue et précoce de la fin d'hiver au début printemps, selon le climat, elle peut s'étendre jusqu'au mois de Mai (Selami, 2000 ; Messirdi, 2004). Le fruit est une étroite gousse indéhissante de moins de 2cm, acuminées, avec une extrémité aigue, portant une à deux graines Les graines contiennent de la cytosine, un alcaloïde toxique (Bouredje, 2005).

D'après Mahnane (2010), en Algérie, le genre *Retama* compte trois espèces : *Retama monosperma* ; *Retama sphaerocarpa* et *Retama raetam*.

Les deux espèces *Retama raetam* et *Retama monosperma*, se ressemblent beaucoup et présentent des caractères peu distinctifs au niveau morphologique, une étude biochimique

et moléculaire serait donc nécessaire pour faciliter leur identification et permettre ainsi une meilleure valorisation de leur diversité génétique (Mahnane, 2010).

D'autre côté, les caractéristiques de ces trois espèces citées par Quezel et Santa (1962) sont les suivantes :

✓ ***Retama raetam***

Arbuste saharien de 1 à 3,5 m de hauteur à rameaux veloutés, fleurs blanches de 8-10 mm, étendard égalant la carène ou plus long, gousse non dilatée sur sa nature ventrale contenant une petite graine.

✓ ***Retama sphaerocarpa***

Arbrisseaux de 1 à 2m à rameaux pubescents plus ou moins dressés, caractérisés par de petites fleurs jaunes (5-6mm), situées en grappes latérales sur les rameaux âgés, feuilles très petites, gousse globuleuse, jaune brun de 7-13× 5-7 mm – pâturage rocailleux.

✓ ***Retama monosperma***

Arbuste de 2 à 4m des dunes littorales, Fleurs blanches de 14-15mm étendard plus court que la carène, légèrement veiné de pourpre corole blanche, gousse à suture ventrale dilatée, ovoïde, portant une seule graine de couleur vert olive.

Selon Mahnane (2010), les graines de ces trois espèces possèdent les caractéristiques suivantes :

✓ ***Retama monosperma***

A l'œil nu, les graines de *Rétama monosperma* apparaissent sous forme ovoïde, lisse de couleur brun jaune, et d'une taille allant de 5 à 8 mm.

✓ ***Retama raetam* :**

Les graines sont ovoïdes, lisse de couleur sombre allant vers le noir, et d'une taille de 3 à 7mm.

✓ *Retama sphaerocarpa* :

Ses graines sont très petites, de couleur brune, et d'une forme assez globuleuse, leur taille varie entre 1 à 2 mm, les graines des différentes espèces, présentent certaines divergences et quelques similitudes au niveau des formes et des couleurs et cela en fonction de leur centre d'origine et de leur degré de maturité.

2. 2.3. Systématique

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

Règne :	végétal
Embranchement :	Spermaphytes
Sous embranchement :	Angiospermes
Classe :	Dicotylédones
Ordre :	Fabales
Super famille :	Légumineuses
Famille :	Fabacées
Sous famille :	Papilionacées
Genre :	<i>Retama</i>
Espèces :	<i>R.sphaerocarpa.</i> <i>R. monosperma</i> <i>R.raetam</i>

2.3. Importance de *Retama raetam*

2.3.1. Capacité symbiotique des rétames

Les rétames ont une grande capacité symbiotique, faisant partie de la famille des légumineuses, leurs racines se terminent par de petits renflements qu'on appelle nodules ou nodosités, qui abritent une faune microbienne très diversifiée, cette association symbiotique leur permet de fixer l'azote atmosphérique et de le convertir en azote organique assimilable (NO₃).

Les bactéries nodultrices isolées des racines de *Retama raetam* sont souvent des Sinorhizobiums, des rhizobiums et des agrobactériums (Mosbah, 2007).

Les rétames jouent ainsi un rôle important dans le cycle du nitrogène, selon Hatimi, (1995), il existe chez *Retama monosperma* une association symbiotique mycorhizienne qui participe à la l'augmentation de la biomasse et à la nutrition phosphaté et azoté.

2. 3.2. Importance écologique

Cet arbuste joue un rôle écologique notable dans la lutte contre l'ensablement (FAO, 1988) et dans la biofertilisation des terres grâce à leur aptitude à former des symbioses fixatrices d'azote (Valladares et *al.*, 2002), améliorant ainsi les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols pauvres, le R'tem évolue sous différents climats méditerranéens (de l'humide à l'aride) et dans différents écosystèmes : côtes dunaires, maquis et désert (Boulila et *al.*, 2009). Son utilisation dans les opérations de réhabilitation de ces milieux fragiles est recommandable.

2. 3.3. Importance nutritionnelle

Cette espèce est recherchée par les dromadaires et les petits ruminants au Sud de la Tunisie (El Hamrouni, 2001), fournissant 0,89 UF. Kg-1 MS. Cependant, elle ne fait pas partie des espèces préférentiellement pâturées par le bétail qui la consomme en conditions de sécheresse où l'éleveur en fait un complément de ration. Cet arbuste donne au lait un goût amer et peut être abortive en cas de broutage abusif.

2.3.4. Importance médicinale

Selon Hmamouchi (1995), cette espèce est caractérisée par la rareté d'acides aminés et d'anthracénosides, ainsi que par la présence d'hétérosides flavonoïques, hétérosides tonicardiaques et une abondance de tanins. Les propriétés de toutes ces substances Permettraient une large utilisation de cette espèce en médecine. En effet, l'extrait aqueux toxique de sa partie aérienne, une fois traité, a des vertus vermifuges et purgatives (Khiari et *al.*, 2000). Elle soigne aussi les morsures de serpents et la gale des ovins (El Hamrouni, 2001), ajoutent que l'éthyle acétate extrait de cet arbuste a une activité antimicrobienne contre les bactéries Gram positif.

2.3.5. Importance 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, ils pourraient donc être valorisés dans l'industrie papetière (Bouredje, 2005).

D'après le même auteur les rétames sont aussi des plantes ornementales en raison de leurs multiples fleurs odorantes.

Les graines des rétames contiennent des léctines, 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.

1. Matériels et Méthodes

1.1. Objectif de l'expérimentation

Le travail expérimental réalisé dans le cadre de ce mastère vise à étudier la tolérance d'une plante steppique (*Retama raetam*) à la salinité, induit par différentes doses de NaCl, ajoutées à l'eau de robinet et ce, en analysant des paramètres physiologiques et biochimiques, l'essai a été réalisé durant l'année universitaire 2014 /2015

1.2. 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.

1.3. Conditions expérimentales

1.3.1. Lieu de l'expérimentation

Les expérimentations ont été menées dans une serre en polyméthacrylate de Méthyle (serre multichapel) dans le jardin botanique de l'université Amar Thelidji de Laghouat, dans des conditions contrôlées, sur des plantules *Retama raetam* indique, les moyennes des températures enregistrées, durant trois moments de la journée : 9h, 12h et 16h, sont mentionnées dans le tableau 07.

Tableau7 : Moyenne de la température par mois.

Périodes	Températures moyenne (C°)		
	Heure		
	09H	12H	16H
Du 20/02/2015 au 20/03/2015	18	22,6	21,8
Du 21/03/2015 au 20/04/2015	24	23,6	25

A partir du tableau N° 7, les températures moyennes enregistrées étaient favorables et ne présentaient pas un stress sur la croissance des plantules de *Retama raetam*. 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.

1.3.2 Conteneur

Les conteneurs utilisés dans notre expérimentation, sont des sachets en plastique :

- couleur blanche
- les sachées présentant des orifices de drainage à leur base, permettant l'évacuation des eaux en excès de 30 cm de longueur et de 10 cm de largeur.

1.3.3 Préparation du substrat de culture

Le substrat de culture utilisé est le sable, sachant que, *retama raetam* est une espèce psamophile, qui pousse bien sur un sol sableux qu'un sol argileux (benhassine et biala 2013).

1.4. Description des différents traitements

1.4.1. 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 pesée différente 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 8.

Tableau 08 : Composition en éléments minéraux de l'eau de l'irrigation

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 1,20mS/cm, ce qui correspond à une eau de salinité modéré.

1.4.2. Caractéristique 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 d'une manière général (Tiercelin, 1998). Nous avons opté 6 traitements représentés dans le Tableau 09.

Tableau09 : Caractéristiques des différents traitements

Traitement	T0	T1	T2	T3	T4	T5
CE (mS /cm)	0,76	1,28	2,24	5,26	9,74	11,30
PH	7,55	8,28	8,81	8,95	9	9,4
Concentration n g/l	1,4	2	4	6	8	10
mMole/l (NaCl)	7	13	23	68,4	133,3	154,6

1.4.3. Pré germination

La pré germination des graines à été réalisée le 15/01/2015, afin de lever la dormance des graines de *retama reatam*, nous avons procédé à une scarification des graines en faisant un trempage dans de l'acide sulfurique (95) durant 6 heure suivie d'un rinçage , selon les résultats de (Benhassine et Biao, 2013).La pré germination des graines a été réalisé dans des boîtes de pétri 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 3 : Etape de germination Photo original

1.4.4. Repiquage des germes

Après la germination des grains, un repiquage des jeunes germes de rétame en place définitive a été réalisé à raison de (02) germes par conteneur soit au total 120 plants. Le semis a été fait, le 20/01/2015.

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 cotylédonaire, et ce pour favoriser l'homogénéité de la reprise des plants, cette étape a duré 1 mois. 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 2 mois : puisque nous avons commencé l'irrigation avec les eaux salines après 1 mois, après la levée homogène de tous les plants.

1.5. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté au cours de notre expérimentation est une randomisation totale, à un facteur étudié (effet des différentes doses de NaCl sur les paramètres biométriques et biophysiques des plantules de *retama reatam*).

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 20 répétitions.

T0	T1	T2	T3	T4	T5
T1	T3	T1	T4	T5	T0
T3	T5	T5	T1	T0	T1
T4	T4	T0	T5	T3	T2
T2	T1	T4	T0	T4	T3
T5	T4	T3	T1	T2	T0
T1	T0	T4	T2	T3	T5
T4	T3	T1	T5	T0	T4
T5	T3	T0	T4	T2	T1
T4	T2	T3	T5	T3	T2
T0	T1	T3	T2	T5	T4
T1	T3	T4	T2	T5	T0
T3	T4	T5	T1	T0	T2
T4	T5	T0	T2	T5	T3
T2	T0	T5	T4	T2	T1
T1	T5	T4	T2	T0	T3
T3	T4	T2	T5	T0	T1
T4	T5	T0	T2	T1	T3
T5	T2	T3	T4	T0	T1
T1	T0	T3	T5	T4	T2

Figure 4. Schéma du dispositif expérimental (Randomisation Totale).

1.6. Paramètres mesurés

1.6.1. Paramètres Biométriques

1.6.1.1. Mesure de la hauteur des plants (cm)

La hauteur finale des plantes est mesurée en centimètre (cm) à l'aide d'un mètre ruban, du collet jusqu'à l'apex, au moment de la coupe.

1.6.1.2. Vitesse de croissance (cm/j)

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

1.6.1.3. Nombre des feuilles par plant

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

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

1.6.1.5. Biomasse sèche (g)

Les échantillons de chacune des parties de la plante sont séchés à 105 C° dans une étuve pendant 24H, ou jusqu'à stabilité du poids.

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

1.6.2. Paramètres physiologiques

1.6.2.1. Dosage de la chlorophylle

Dosage de la chlorophylle a été déterminé par la méthode de Mackiney (1941). Il s'agit de broyer 100 mg de matière fraîche en présence d'acétone à 80%. Après filtration, on mesure la densité optique au spectrophotomètre à 663 et 645 nm. Les concentrations en chlorophylle sont déduites par la formule suivante :

$$\text{chl a} = 12 (\text{Do } 663) - 2,67 (\text{Do } 645)$$

$$\text{chl b} = 22,5 (\text{Do } 645) - 4,68 (\text{Do } 663)$$

1.6.2.2. 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 Trolls et Lindsley, (1955), simplifiée et mise au point par Rasio et *al.*, (1987).

Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essai contenant 2 ml de méthanol à 40%. Le tout est chauffé à 85°C dans un bain-marie pendant 60mn. (Les tubes sont recouverts de papier aluminium 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 orthophosphorique ($\text{H}_3\text{PO}_4, d=1.7$).

La solution obtenue est portée à ébullition 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, 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 de Sulfate de Sodium Na_2SO_4 anhydre (pour éliminer l'eau qu'elle contient). On détermine la densité optique (Do) à l'aide d'un spectrophotomètre (type 20D) sur une longueur d'onde de 528nm. 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 déterminer les teneurs en proline dans les feuilles des plantes.

1.6.2.3. Dosage des sucres solubles

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol de Dubois et *al.*, (1956). Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche, placées dans des tubes à essais, on ajoute 3 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres. On laisse à température ambiante pendant 48h à l'obscurité. Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube on ajoute 20ml d'eau distillée à l'extrait.

C'est la solution à analyser. Dans des tubes à essais propres, on met 2ml de la solution à analyser, on ajoute 1ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée); on ajoute rapidement 5ml d'acide sulfurique concentré 96% tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. On obtient, une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10mn et on les place au bain-Marie pour 10 à 20mn à une température de 30°C (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures.). Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 485 nm. Enfin des résultats des densités optiques sont rapportés sur un courbe étalon des sucres solubles (exprimés en glucose).

2.1. Evolution de la croissance des plants

Durant 60 jours de traitement salins, nous avons remarqué que les plants des traitements T4 et T5, n'ont pas pu résister et ont dépérit en totalité. Pour cette raison nous avons arrêté l'expérience avec à 2 mois de traitement salin soit 3mois de culture. Les résultats relatifs à l'évolution de la hauteur des plants sont présentés dans la figure (5, 6).

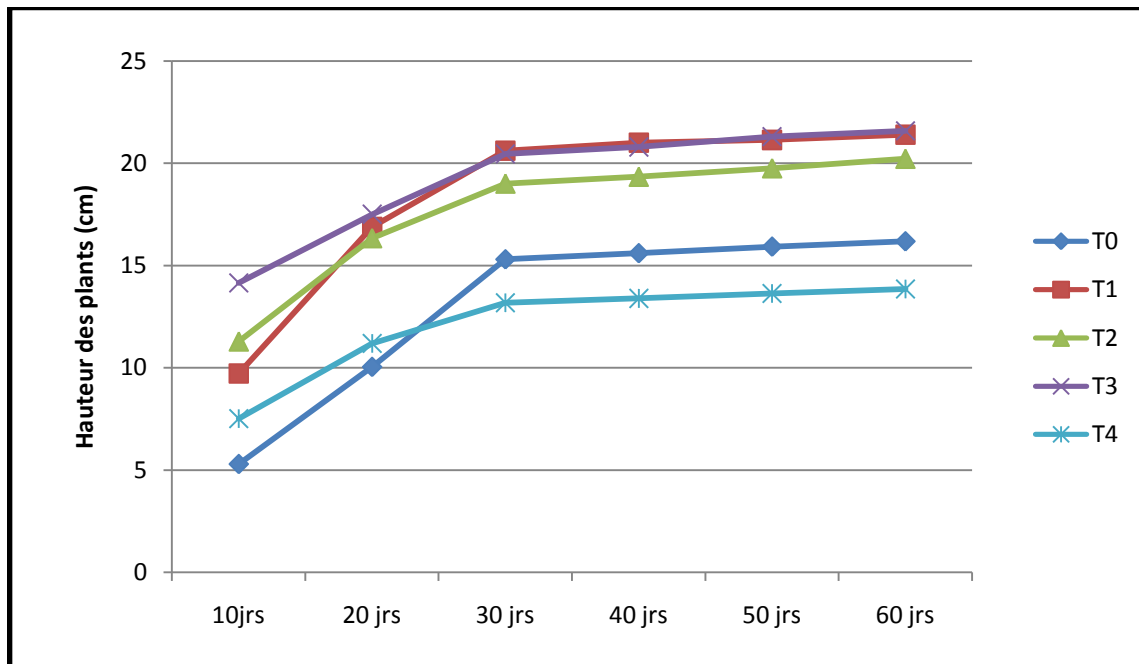


Figure 5 : Evolution de la hauteur des plants durant 60jours des traitements (cm)

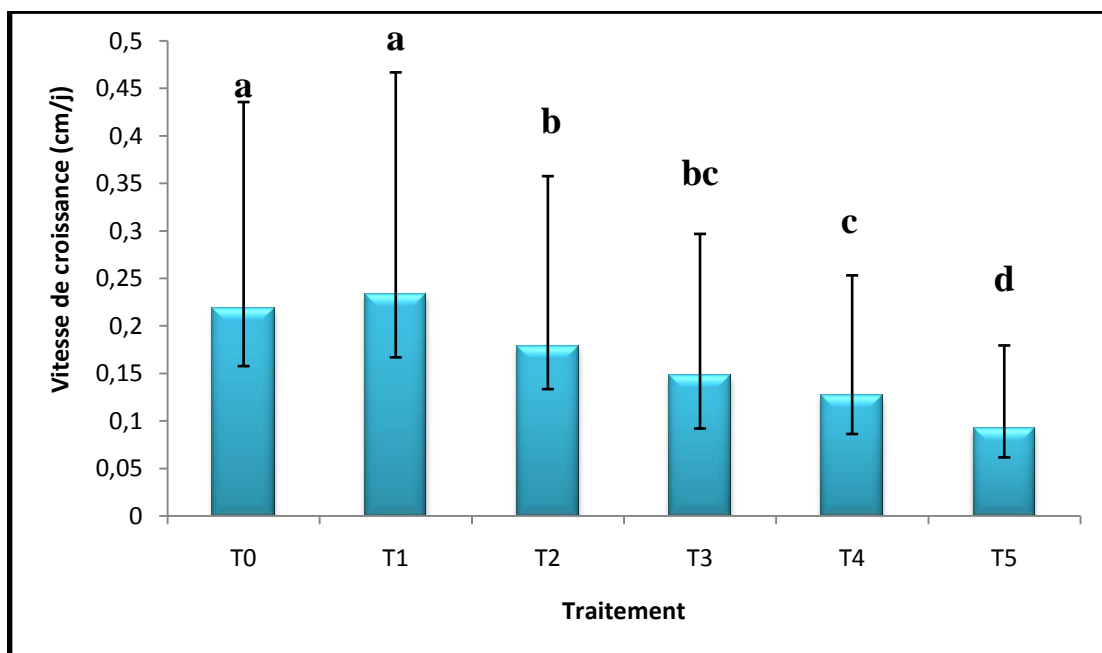


Figure 6 : la vitesse de croissance des plants (cm/j)

Après 30 jours de traitements salins, la croissance des plants présente un ralentissement pour tous les traitements, cependant le T1, T2, T3, présentent les meilleurs valeurs, l'analyse de la variance (0,000 ; annexe 1) est hautement significative.

En calculant la vitesse de croissance en (cm/j) pour chaque plant (figure 06), nous constatons que la vitesse la plus élevée est celle du (T0, T1), la plus faible est celle du (T4, T5), les valeurs intermédiaires sont celles de (T2, T3), l'analyse de la variance est aussi hautement significative (0,000 ; annexe 2).

2.2 .Hauteur finale des plants (cm)

Nous avons pris une photo des plants à 90 jours de culture, et ce afin d'avoir une idée sur l'aspect final des plants avant de mesurer les paramètres biométriques (figure 7).



Figure 7 : Aspect des plants (90 jours) après semis photo originale

L'effet traitement apparaît nettement sur la hauteur finale des plants dans la photo

La hauteur finale des plantes est présentée dans la figure 8 :

Selon l'analyse de la variance ($p=0,000$; annexe 3), nous constatons la présence d'une différence hautement significative entre les différents traitements testés.

Les plus hautes valeurs sont enregistrées chez le (T1, T2, T3) soit respectivement (2g/l, 4g/l, 6g/l).

Les résultats obtenues montrent qu'il y a une diminution de la hauteur des plantes au niveau des traitements salins, (T4, T5) soit respectivement (8g/l et 10g/l) de sels.

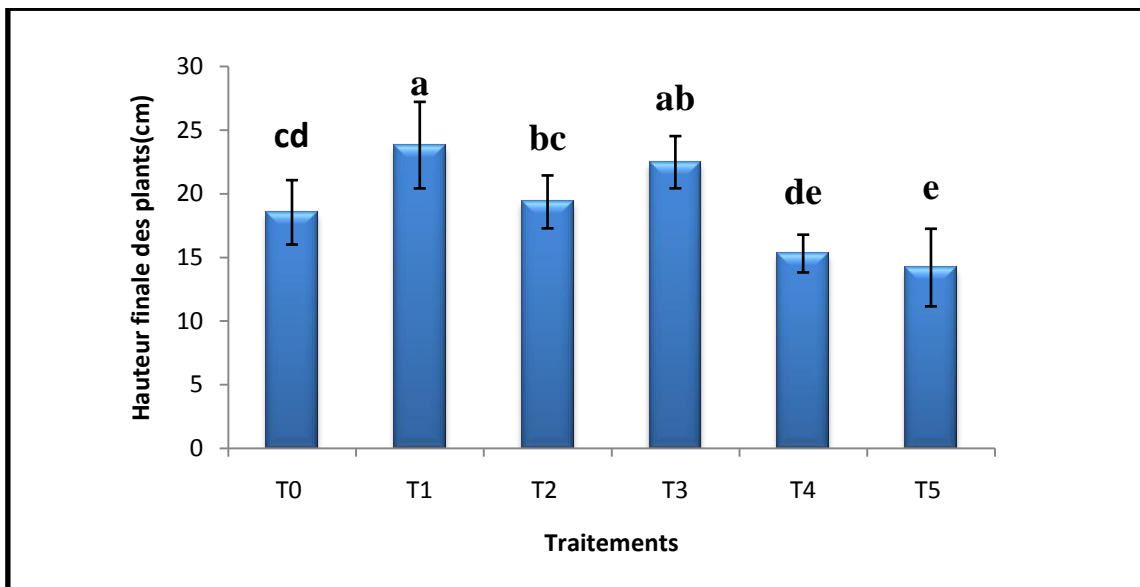
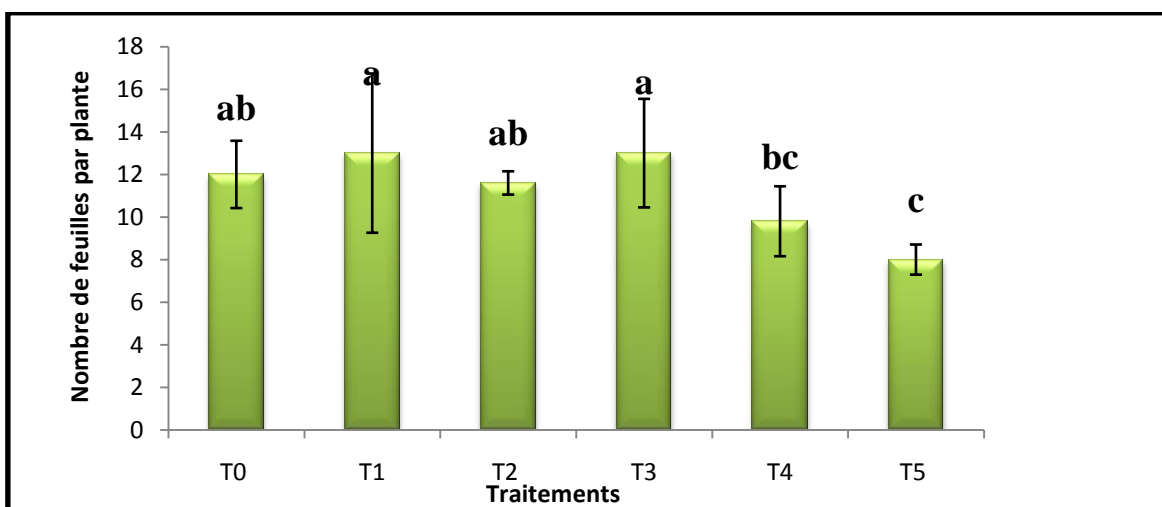


Figure 8 : Hauteur finale des plants (cm)

2.3. Nombre des feuilles par plant

Dans la figure (9) et l'analyse de la variance ($p=0,005$; annexe 4), Les résultats obtenus montrent qu'il y a une différence hautement significative entre les traitements testés,

Les meilleurs valeurs sont enregistrées par le traitement (T0, T1, T2, T3) entre (12 et 16, feuilles par plant), le traitement (T4, T5) présentent les plus faibles valeurs avec un intervalle (8 à 10 feuilles par plant)



Figures 9 : Nombres des feuilles par plant

2.4. Poids frais et sec total des plants (tige + feuille) (g)

Les résultats du poids de la biomasse fraîche et sèche totale (tige+feuille) sont présentés au niveau des figures 10 et 11:

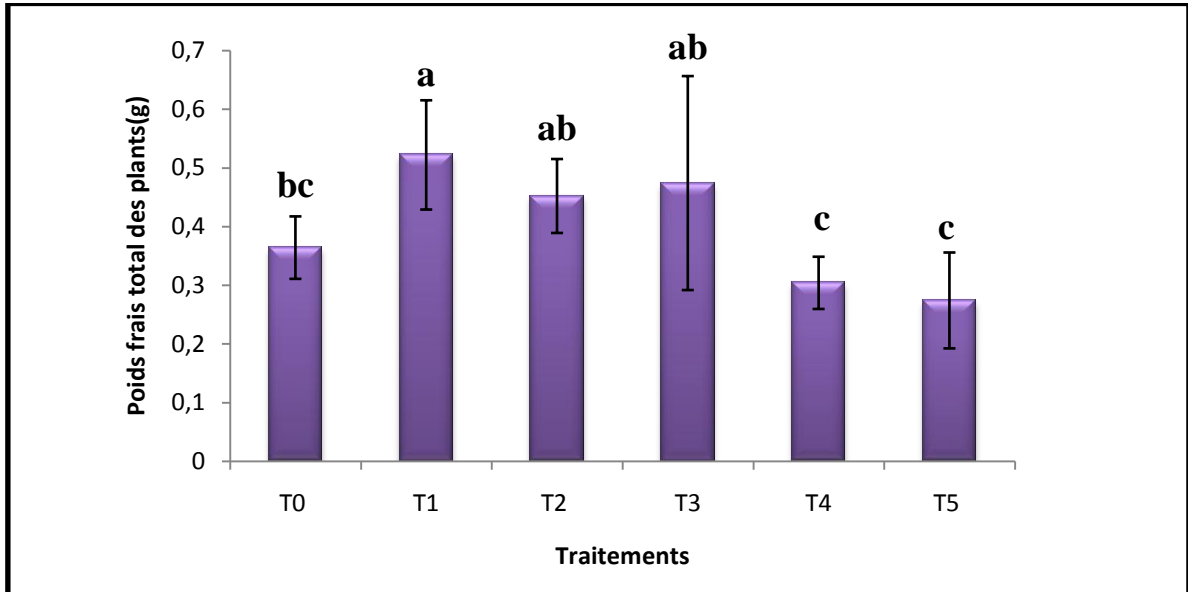


Figure 10 : Poids frais total des plants (g)

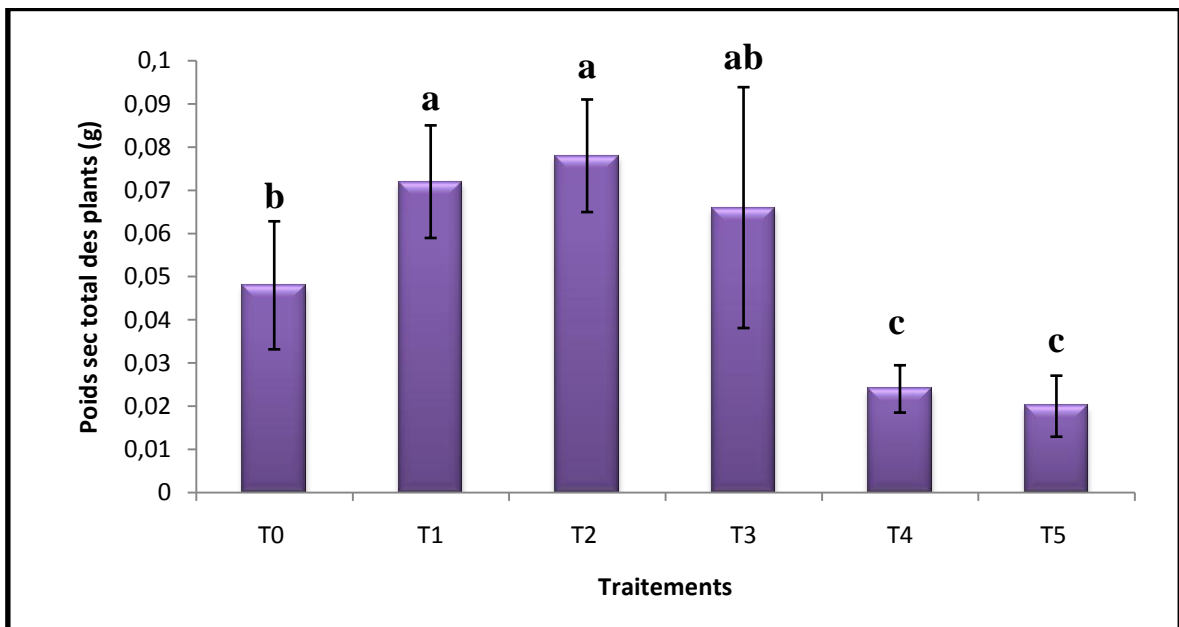


Figure 11 : poids sec total des plants (g)

Selon la figure (10 et 11) et l'analyse de la variance ($p=0,000$; annexe 5) et ($p= 0,002$; annexe 6), il y a une différence hautement significative sur les poids frais total et poids sec total des plants.

Le poids frais et sec de traitement (T1, T2, T3) présentent les valeurs les plus élevées par rapport au témoin T0, le paramètre le plus faible est observé au niveau des plants issus des traitements (T4, T5).

Nous constatons, que le témoin (T0), le milieu le moins salin semble ne pas être idéal pour le *Retama raetam*, ceci explique que cette plante préfère des concentrations plus élevées en sels que (1,4g/l).

2.5. Poids frais et sec racines(g)

Les résultats du poids frais et sec des racines sont présentés au niveau des figures(12,13)

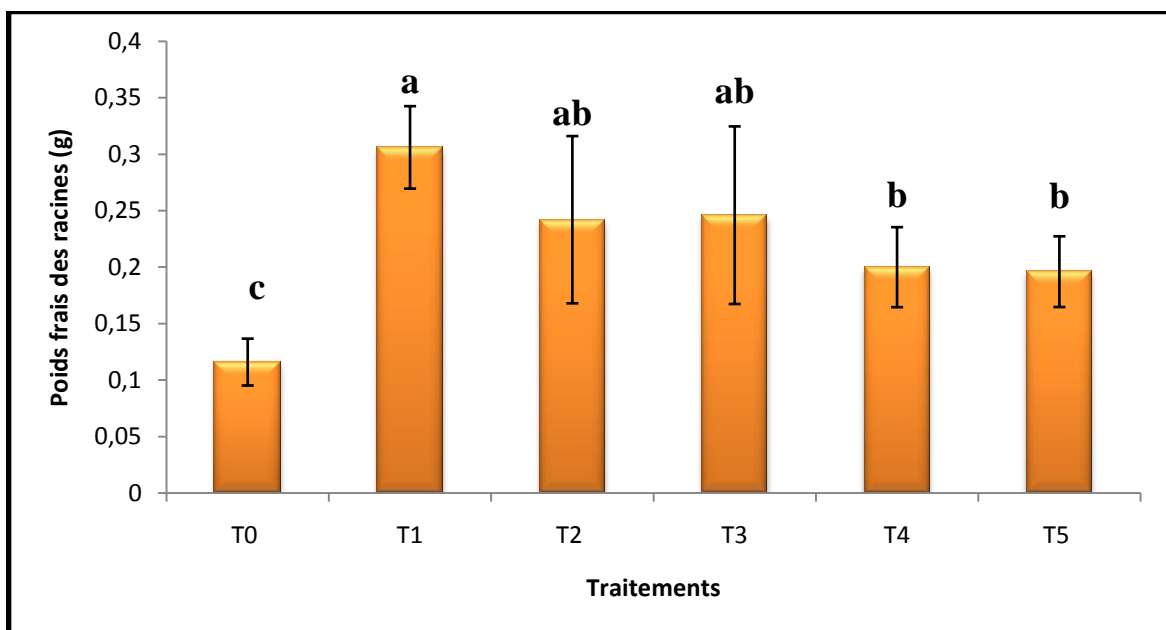


Figure 12 : Poids frais des racines des plants (g)

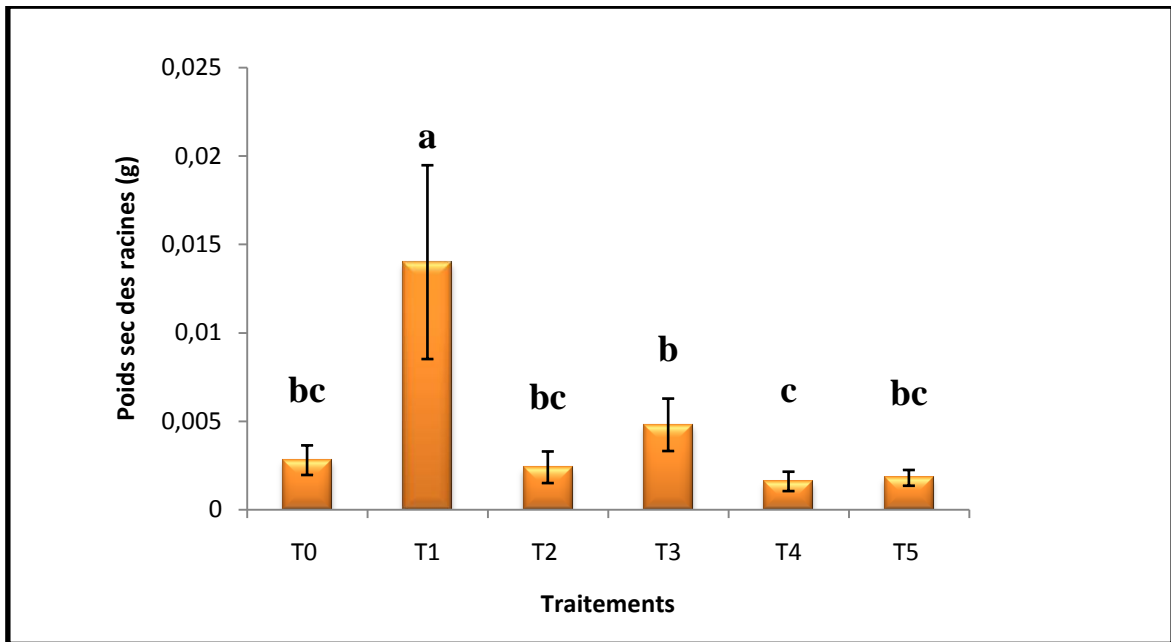


Figure13:Poids sec des racines en (g) des plants

Les figures (12, 13) et l'analyse de variance ($p=0,000$; annexe 7), ($p=0,000$; annexe8) montrent que l'effet traitement manifeste une différence très hautement significative sur le poids frais des racines et poids sec des racines des plants.

En effet nous pouvons remarquer, les augmentations des concentrations de NaCl appliquées dans l'eau d'irrigation manifestent une perte notable des poids mesurés en particulier ceux du T4 et T5.

Les différentes concentrations de NaCl influent sur la croissance pondérale de la partie souterraine. La moyenne la plus élevée du poids frais et sec racinaire est obtenue par le traitement (T1, T2, T3).

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

Les résultats du dosage de la proline dans les feuilles sont présentés dans la figure (14) :

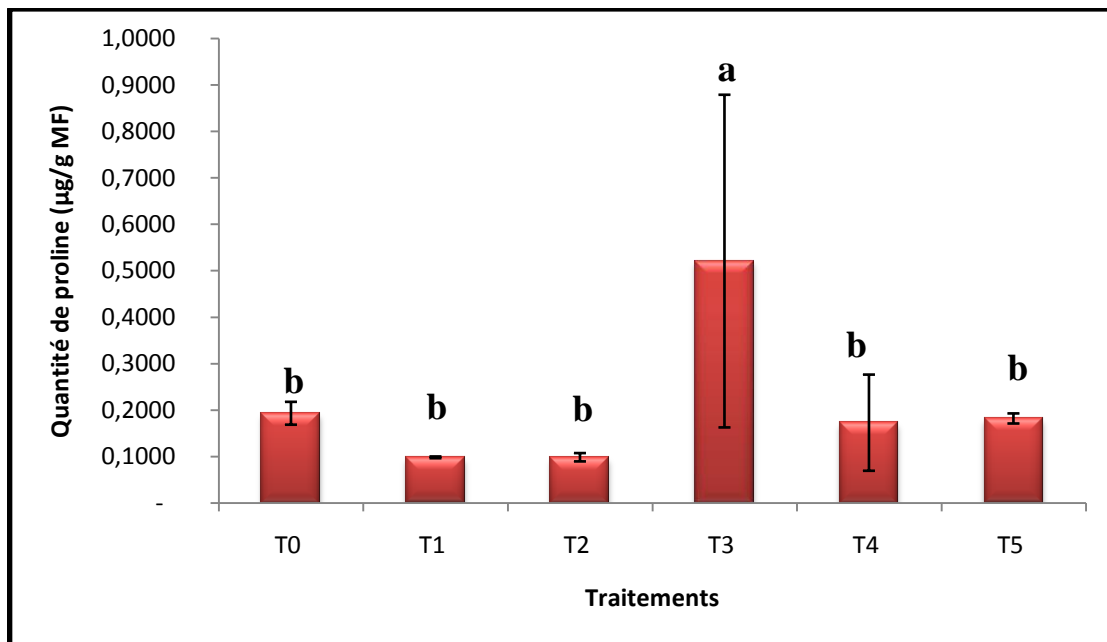


Figure14 : Quantité de la proline en $\mu\text{g/gMF}$

Selon la figure (14) et l'analyse de variance ($p=0,046$; annexe 9), il y a une différence significative entre les traitements étudiés.

La valeur la plus élevée est obtenue chez le traitement (T3), les traitements (T0, T1, T2, T4, T5) présentent des valeurs faibles, il semble que le milieu le plus tolérant par *Retama raetam* est le T3 (6g/l).

2.7. Quantité des sucres solubles ($\mu\text{g/g MF}$)

La figure (15) présente les moyennes de la quantité des sucres solubles dans les feuilles chez les différents traitements :

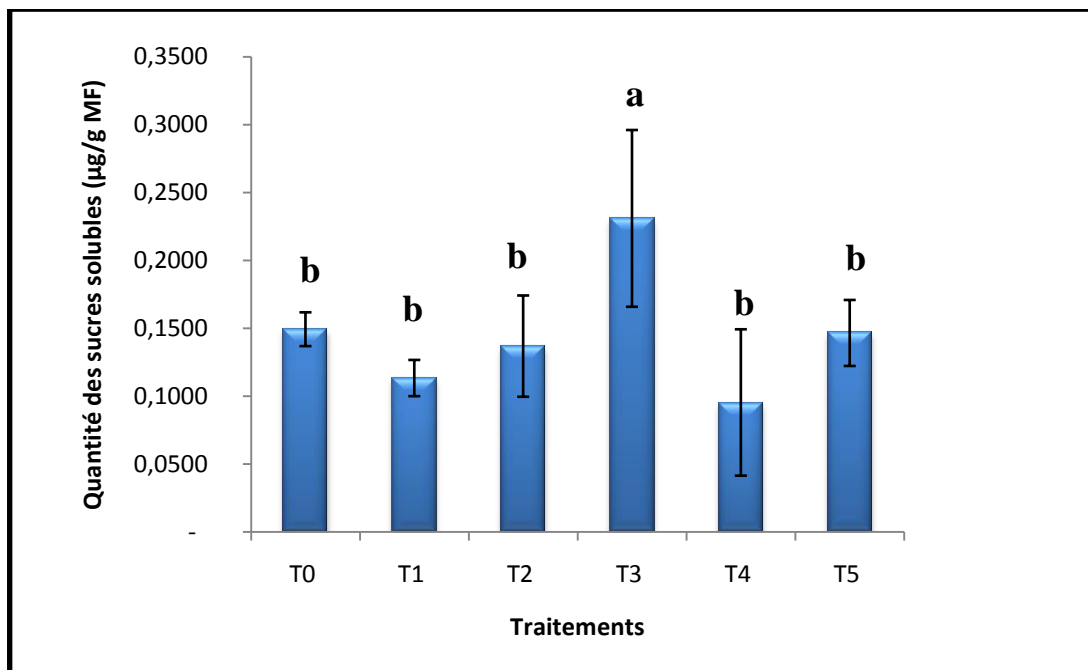


Figure 15 : Quantité des sucres soluble ($\mu\text{g/gMF}$)

La figure (15) et l'analyse de variance ($p=0,020$; annexe 10) montre une différence significative pour les traitements étudiés. Les fortes accumulations des sucres solubles sont observées chez traitement (T3) niveau de stress, par contre les plus faibles teneurs en sucres solubles sont enregistrées en condition d'irrigation de traitement (T0, T1, T2, T4, T5).

2.8. Quantité de la chlorophylle ($\mu\text{g/g MF}$)

Les résultats de chlorophylle (a+b) sont présentés dans la figure 16:

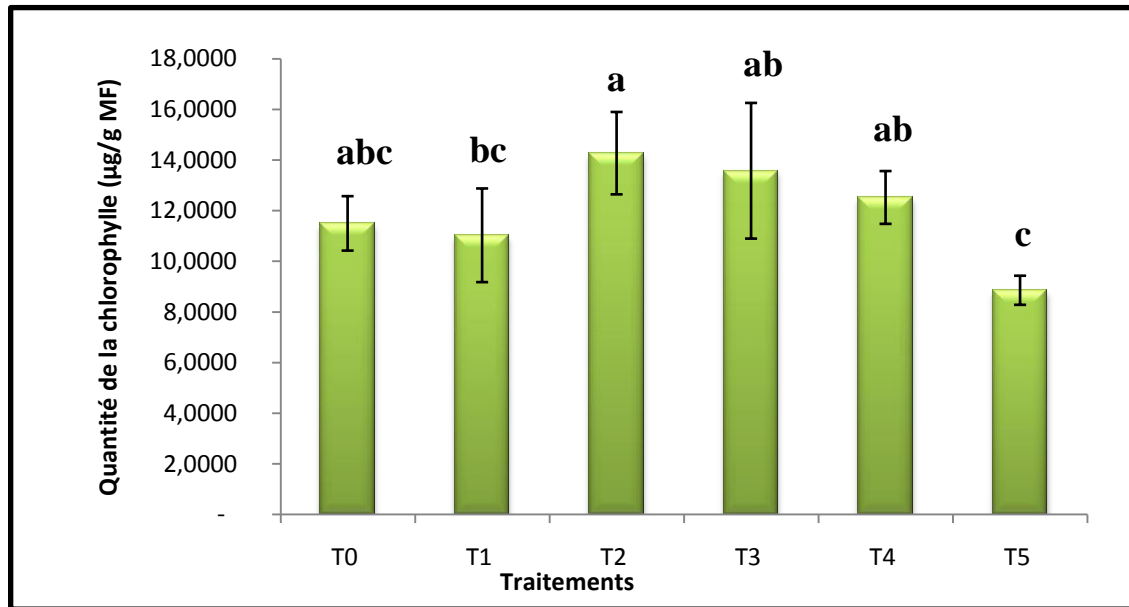


Figure 16 : Quantité de chlorophylle (a+b) ($\mu\text{g/g MF}$)

La figure (16) et l'analyse de variance ($p=0,018$; annexe 11), montre une différence significative entre les traitements. Les moyennes les plus élevées de la teneur en chlorophylle sont enregistrées pour les traitements (T2, T3), la moyenne la plus faible est obtenue chez le traitement de (T5).

Discussion Générale

Les mesures biométriques et physiologiques des plants de *Retama raetam*, sous différentes concentrations de NaCl, nous ont permis d'étudier la gamme de tolérance de *retama* au sels, les meilleurs résultats pour les paramètres biométriques, ont été constatés chez T1, T2, T3, par rapport aux témoin (T0) qui a présentait des valeurs intermédiaires, les plus faibles valeurs ont été observé chez les traitement (T4 et T5).

Benamar et *al.*, (2009), avait expliqué que la diminution de la croissance de l'appareil végétatif observée chez les plantules de blé 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. (Ohta et *al.*, 1990) ont noté que le chlore augmente plus la pression osmotique et inhibe la croissance.

Comme l'a indiqué (Ben Naceur et *al.*, 2001), le sel a un effet dépressif sur le taux de la croissance biologique, avec une Réduction significative de la hauteur des plantes en fonction de l'augmentation de la salinité.

Hameed et *al.*, (2008) montrent des résultats similaires avec une réduction significative de hauteur des plantes en fonction de l'augmentation de la salinité.

Imalet (1979), montre que la composition chimique des solutions en sels nocifs tel que le NaCl dont les effets nocifs provoquant les symptômes de nanisme et une diminution de la croissance due aux fortes concentrations de sels.

Walker et Douglas (1983), suggèrent que la diminution de la croissance pourrait être en relation avec une perte de turgescence. Dans ce cadre (Lloyd et *al.*, 1990), ont montré que Na^+ est beaucoup plus responsable de la réduction des échanges gazeux et du taux d'assimilation de CO_2 et donc de la croissance. Rappelons à ce sujet que si l'entrée massive de Na^+ entraîne quelques symptômes de toxicité chez les espèces tolérantes, elle cause par contre une sévère réduction de la croissance ou même la mort des glycophytes sensibles (Maathuis et Sanders, 1996 ; Atmann et Sanders, 1999).

La salinité élevée cause une diminution significative de la surface foliaire des feuilles de blé, du poids frais et du poids sec (Hamza, 1980), en notant que les différentes parties de la

plante ne sont pas affectées avec la même intensité (Ouerghi et *al.*, 2008). Selon Zid et *al.*, (2008) les parties aériennes sont nettement plus sensibles au sel que les racines.

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 ».

Ce déséquilibre ionique limite l'absorption du Mg^{+2} qui est indispensable au maintien de l'hydratation du cytoplasme cellulaire (Coic et Lesaint, 1975), qui se traduit par une déshydratation du cytoplasme aboutissant ainsi au dépérissement des tiges et formation des tiges moins développées (Snoussi, 2001).

Cette biomasse fraîche faible peut être expliquée par les résultats des travaux de recherches de Heuer & 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.

Les différentes concentrations de NaCl influent sur la croissance pondérale de la partie souterraine. La moyenne la plus élevée du poids frais et sec racinaire est obtenue par les traitements (T1, T2, T3) respectivement chez (T4, T5).

Lemzeri (2006), indique que le chlorure de sodium inhibe la croissance des racines des glycophytes, qu'elles soient réputées très sensible à la salinité, moyennement sensible ou plutôt tolérantes.

Diehli, Bailliere (1975), notent également 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 végétale subit un flétrissement qui peut devenir permanent en cas de déficit en eau prolongé.

Aussi, les travaux de (Bressan, 1984 in Moualleg, 2010) ont montré qu'en milieu salin, la plante doit réguler strictement la pénétration des ions à travers les racines pour empêcher une accumulation trop rapide des ions au niveau aérienne ; ceci conduit à une accentuation du déficit hydrique.

L'accumulation de la proline sous l'effet de la salinité chez l'espèce *Retama raetam* étudiée est plus importante chez le traitement (T3)

L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de la stimulation de sa synthèse (Morris et *al.*, 1969 ;Boggess et *al.*, 1976).

Selon Stewart (1974) in Zid et Gringon (1991), avait expliqué que cette substance peut s'agir d'un osmoticum dont l'accumulation cytoplasmique permet de neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation du sel dans la vacuole Selon un autre point de vue, l'accumulation de proline n'est pas une réaction d'adaptation au stress, mais plutôt le signe d'une perturbation métabolique (Hanson, 1977 in Zid et Gringon, 1991).

Plusieurs auteurs montrent que l'augmentation de la teneur en proline est reliée directement à l'application du stress hydrique (Cechin et *al.*, 2006). L'accumulation de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotiques, hydriques, thermiques) (Blum, 1996). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent plus marquées (Savouré et *al.*, 1995).

chez la luzerne (Hireche, 2006). Il apparaît que la proline peut conférer la tolérance des plantes aux stress par le développement d'un système antioxydant qui peut jouer un rôle d'indicateur d'ajustement osmotique (Eliane et *al.*, 2007).

Ainsi, l'accumulation de la proline est le résultat de l'inhibition de l'assimilation du CO₂ (Viégas et Gomes Da Silveira, 1999) et l'augmentation du catabolisme des protéines (Viégas et Gomes Da Silveira, 1999 ; Lluch et *al.*, 1995 in Ben khalled et *al.*, 2003) et/ou une synthèse de nouveau de cet acide aminé.

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. Chez la luzerne, les lignées tolérantes accumulent jusqu'à deux fois de proline dans le système racinaire que les lignées sensibles, chez qui l'augmentation est plus lente et moins importante. Kirti et *al.*(1991), mentionnent que l'augmentation de la proline est associée à une meilleure tolérance au stress salin et une meilleure performance en ce qui concerne la production de matière sèche sous stress salin, ils font remarquer que l'augmentation de la proline intervient comme une réponse au stress salin ; ces résultats sont conformes à nos résultats ou le (T3) est le milieu salin le plus toléré par *Retam raetam*.

Djerroudi et *al.*, (2010), 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.

Les sucres solubles accumulés sous stress sont considérés comme des osmorégulateurs et des osmoprotecteurs (Hounsa et *al.*, 1998). Plusieurs fonctions de protection ont été identifiées, parmi lesquelles la stabilisation des membranes et des protéines en cas de déshydratations, limiter l'agrégation des protéines dénaturées. L'accumulation des sucres solubles en dépit de la diminution de la fixation de CO₂ des feuilles (Murakeazy et *al.*, 2003).

L'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes en cas de stress, afin de résister aux contraintes du milieu (Loretti et *al.*, 2001).

L'accumulation de ces composés organiques a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Cette accumulation varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (Acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes. La liaison entre l'aptitude d'accumulation de ces solutés et la tolérance des plantes à la salinité a fait l'objet de nombreuses discussions (El Midaoui et *al.*, 2007). les sucres solubles se sont significativement accumulés dans les feuilles sous l'effet du sel et participeraient aux phénomènes d'ajustement osmotique (Ben Khaled et *al.*, 2003).

L'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes en cas de stress, afin de résister aux contraintes du milieu (Mouellef., 2010) ; ceci a été aussi constaté au niveau du T3 dans notre étude.

Lemzeri (2006), mentionne que les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour l'ajustement osmotique, comme de nombreuses autres molécules. De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Différents sucres solubles peuvent être présents dans les tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (Dubos ,2001 ; Sairam et tyagi, 2004).

Pour les teneurs en chlorophylles, les plus hautes valeurs sont obtenues chez (T2, T3, T4) 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, les taux le plus faible est obtenu au niveau du (T5) ; 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 CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Sutinen *et al.*, 2002).

La salinité détruit la structure fine des chloroplastes et provoque l'instabilité des complexes protéines-pigments et la diminution de la teneur en chlorophylle. 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 ; in Ben khalled *et al.*, 2003).

La diminution de l'activité photosynthétique chez les plantes sous stress salin est citée par plusieurs auteurs comme étant l'une des causes majeures de la réduction de la croissance et de la productivité végétale (Alem *et al.*, 2002).

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 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).

Dans des test sur la tolérance à la salinité sur plusieurs variété de laitue Aydi, (2010), a pu démontré que les variétés les plus tolérantes à la salinité présentaient des taux de chlorophylle élevés que les variétés sensibles ; les mêmes constatations ont été trouvés par Taalouche Belhaj (2012) pour différents géotypes de Blé.

Conclusion

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

Cependant, pour la plupart des paramètres mesurés, une différence significative entre les traitements testés, les traitements salins. Ont agit sur la vitesse de croissance, la hauteur finale des plantes, le nombre des feuilles, les poids frais et sec total, poids frais et sec des racines, l'effet se manifest par une diminution de ces paramètres mesurés avec l'augmentation des concentration excessive de sel (NaCl) dans l'eau d'irrigation.

La tolérance au stress NaCl a été évaluée chez les traitements T1, T2, T3 qui donnent les meilleures performances par apport au témoin. Par ailleurs on enregistre des valeurs faibles quant aux plantes alimentées par le traitement T4, T5 (forte salinité), il apparait bien que *Retama raetam*, préféré des miliuex salins que le milieu non salin dans la limite de 6g/l.

Les caractères physiologiques mesurés traduisent également une tolérance à la salinité:

- une augmentation des chlorophylles par rapport au témoin, Les teneurs en chlorophylle sont des paramètres très sensibles
- une accumulation de proline nettement plus élevé chez les traitements (T1, T2, T3) par rapport à leur témoin non stressé.
- une accumulation de la teneur en sucres totaux chez le traitement (T3) par rapport à leurs témoins non stressés.

Le résultat de notre étude, montre que les plantes *Retama raetam* sont résistance à la salinité chez les traitements (T1, T2, T3) (2g/l, 4 g/l, 6 g/l), à l'inverse sont sensible chez les traitements (T4, T5) (8g/l, 10g/l).

Enfin nous pouvons classer *Retama raetam*, comme une plante halophyte facultative qui préfère le sel dans la limite de (6 g/l) de sel dans un sol sableux.

Perspective :

Dans le but de la réhabilitation des parcours dégradés, les zones en sablées, et les sols touches pour la salinité, le *Retama raetam* peut etre placé pour une phytoremédiation pour pomper le sel et enrichie les sols en Azote fixer les dunes de sable

Références bibliographiques

Référence bibliographiques

Abdelly 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.

ADE, 2011 : L'ADE Unité de Laghouat, n.12, 280170

Alem C., Labhilim M., Kouider B., Jlibene M., Nasrallah N., Filali-Maltouf A., 2002 : Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. Académie des sciences, (325) : p1097-1109.

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 Dhouha., 2011 : Analyse de la tolérance à la salinité de 30écosysteme oasien.Thèse Magister. Institut National Agronomique de Tunisie. P26.

Amtmann A., Sanders D., 1999 : *Mechanism of Na⁺uptake by plant cells.* Adv. Bot. Res.p.75-112.

Anonyme, 2006 : Conférence électronique sur la salinisation: Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation. Organisée et coordonnée par: IPTRID du 6 février au 6 Mars 2006, 20 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.

Asloum H., 1990 : Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicon esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation

de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis, pp.24- 32.

Aubert G., 1938 : Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou sals sodiques. Cash. ORSTOM. Ser. Ped. Vol xxx n°1, 73-78p.

Aubert G., 1986 : Réflexions sur l'utilisation de certains types de banquettes de « Défense et Restauration des Sols » en Algérie ORSTOM, et. PKDOL., vol. 22, no 2, pp: 147 151.

Aydi Rania., 2012 : Criblage de variétés de laitue pour la tolérance au stress NaCl par culture en pots de sable, hydroponique et *in vitro*, Projet de fin d'études du cycle ingénieur. Institut National Agronomique de Tunisie, p104.

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 Biologies, 332, 752-758. 62: 89-93 p.

Benhasine F.S., et Biaa F., 2013 :L'influence de type du sol sur l'émergence de l'Arisiitida et *Retama raetam*, Mémoire Master Biologie. Université Amar Thelidji Lagouat, p.55.

Ben Khaled L., Morte Gomez A., 2003 : Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le tréfle inoculé par le Rhizobium, Agronomie, Vol. 23,N° 7,pp.533-560.

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.

Beniston nt, WS., 1985 : Fleurs d'Algérie. Entreprise nationale des arts graphiques. Éd, Reghaia.Algérie, 112p.

Benzellat B., 2012 : Contribution à l'amélioration des rendements des plantes cultivées en sols salés. Thèse Magister. Université, Aboubakar Belkaid. 1-2 p.

Berthomieu P., 2003 : *Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis* shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *Embo Journal* 22, 2004-2014
Biotechnology 16, 123–132.

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

Bliss R.D., Platt-Aloria K.A. & Thomson W.W., 1986 : Osmotic sensitivity in relation to sensitivity in germination barley seeds. *Plant Cell and Environment* 9, 721-725 p.

Blum A., 1996 : Crop responses to drought and the interpretation of adaptation plant growth regulation. **20:** 135 - 148 p.

Bogges S.F., 1976 : Métabolisme of (5-3H) ; prolyne by barley and its uie 9.

Bolaine J., 1972 : Cours hydrologéologie. Alger (Algerie). Ecole Nationalde génie Rurale des eaux et des fortes.122p.

Bolyn J.H., 1974 : Contribution à l'étude de la tolérance des plantes ligneuses à la salure. Thèse de Doctorat d'Etat Grenoble. (France), p. 76-79.

Bouaouina S., Zid E., et Hajji M., 2011 : : Sélection précoce pour l'identification de nouvelles sources de tolérance à la salinité chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) Département de Biologie, Unité d'Ecophysiologie et Nutrition des Plantes, Faculté des Sciences de Tunis, Campus Universitaire, 1060 Tunis, Tunisie.

Bouchoukh I., 2010 : Comportement écophysiologique de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin. Thèse Magister. Université Mentouri-Constantine. 24p.

Bouredje N., 2005 : Etude anatomique et biochimique des protéinés et des acides amines foliaires de *Rétama monosperma* (boiss). These de Magister : Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf (Algerie). 83p.

Boulila F.G., Depret B., Boulila D., Belhadi S., Benallaoua et G., Laguerre., 2009 : *Retama species growing in different ecological climatic areas of northeastern Algeria have an arrow range of rhizobia that form an novel phylogenetic cladewithin the Bradyrhizobium genus*, *Syst.Appl.Microbiol* : pp1-11.

Calu G., 2006 : « Effet du stress salin sur les plantes. Comparaison entre deux plantes modèles : *Arabidopsithaliana* et *Thellungielahlophila* ». Master1, Recherche biotechnologie : du gène à la molécule Spectro Science, article 23. 10 p.

Cechin I., Rossi S.C., Oliveira V.C., & Fumis T.F., 2006 : Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. *PHOTOSYNTHETICA* .44 (1): 143-146p.

Cheverry C., 1995 : Plant behaviour in saline environment. Action eau N°4, Séance spécialisée du 22 mars 1995; Ed. Acad. agro, Paris, France, 49 pages.

Chartzoulakis K., et Klapaki G., 2000 : Response of two greenhouse Romeroaranda et al, 2001 in Parida et Das, 2005.

Cherbuy B., 1991 : Les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique. Cemagraf, école. Nat. Renne, 170.

Coic Y., Lesaint C., 1975 : La nutrition minérale en eau des plantes et horticulture avancée. *Document technique S.C.P.A*, n.23, Versailles, 1975,21 p.

Debez A., Chaibi W., Bouzid S., 2001 : Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus* L. Cahiers d'Etudes et de Recherches Francophones/Agricultures, Vol. 10, No. 2: 135- 138.

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

Djerroudi –Zidane O. M., Belkhodja S., Bissati S., H-adjadj., 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.

Denden., 2005 : Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales, disponible sur : www.tropicultura.org/text/v23n4/220.pdf

Dubos C., 2001 : Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat. Univ. Henri Poincaré, Nancy-I. France.

Dutoit T., 1996 : Dynamique et gestion des pelouses calcaires de Haute-Normandie. France : Publication Universitaire de Rouen. 220p.

Durand J.H., 1958 : Les sols irrigables. Etude pédologique. Alger. 190 p.

Durand J.H., 1983 : Les sols Irrigables. Etude pédologique. Presses Universitaire de France. Agence de Coopération Culturelle et Technique. 338 p.

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. Pp : 6-38.

El Midaoui M., Benbella M., Aït Houssa A., Maataoui A., et A., Talouizte 2007 : Reponse de quelques genotypes de tournesol (*Helianthus annuus L.*) au chloure de dodium. Revue HTE N°136. P 41-46.

Eliane Cristina G.V., Ivan S., Marcos P., Carlos A.S., Hugo Bruno C.M., Celso J.M., & Ellis R.J., 2007 : The molecular chaperone concept. *Semin. Cell Biol.* **1:** 1 - 9 p.

FAO, 1988 : Manuel de fixation des dunes. Cahier FAO. serie 18 : Conservation.

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.

Gaucher G., 1968 : Traité de pédologie agricole : le sol et ses caractéristiques. Paris (France) : DUNOD Paris. 368p.

Ghodbène N., 2006 : Etude comparative de quelques paramètres morpho- physio agronomiques chez quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare L.*) cultivées en condition de salinité. Mémoire d'ingénieur en biologie végétale. 109p.

Guptark.,Abrol I.P., 1990: Salt-affected soils: their reclamation and management for crop production. Adv. SoilSci. 11:223-228.

Halitim A., 1985 : Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes Plaines Steppiques d'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Rennes, 383 p.

Halitim A., 1988 : Sols des régions arides d'Algérie. O.P.U.

Hameed A., Nasser Sh., Tahira I., Hina S., et 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., 1980. Réponse des végétaux à la salinité. Physiologie végétale, 18, 1 :69-81.

Haouala F., Ferjani H., et Ben El Hadj S., 2007 : Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. Vol. 11, n°3, pp. 235-244.

Hatimi A., 1995 : Root symbiotes of three arborescent legume crops in the littoral dunes of Souss-Massa. In '[INRA Colloquia; Limiting factors in symbiotic nitrogen fixation in the Mediterranean basin]' pp. 183-90. (INRA (Institut National de la Recherche Agronomique)).

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

Hireche, 2006 : Réponse de la luzerne *Médicago sativa* (L) au stress hydrique et à la profondeur du semis. Thèse de Magister.Univ. *EL Hadj Lakhdar*. Batna :83 p.

Hmamouchi, M. 1995. Plantes alimentaires aromatiques condimentaires, médicinales et toxiques au Maroc. Option méditerranéen. CIHEAM :pp 90-108.

Hounsa C.G., Brandt E.V., Thevelein J., Hohaman S., Proir B.A., 1998 : « Role of trehalose in survival of *Sacharomyces cervisiae* under osmotic stress ». University of the Orange Free State, Bloemfontein, South Africa. Microbiology. Pp : 671-680.

Imalet R., 1979 : Influence de différente concertation de sel (NaCl, Na₂SO₄) des eaux d'irrigation sur le rendement du haricot. Thèse de l'ingénieur : I. N.A El Hrrach, Alger. 43p.

Job J-O., 1998 : *Les milieux salis in traité d'irrigation. Paris(France) :* Technologie et Documentation. P : 677-687.

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.

Khiari D.B., Ben Tiba F., Harzallah et R., Chemli, 2000 : Etudes de quelques plantes médicinales de la région de Sousse. *Revue de l'INAT*. 15 (2). 49- 62.

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.

Lachiheb K., Neffati M., Zid E., 2008 : Aptitudes germinatives de certaines graminées halophytes spontanées de la Tunisie méridionale. IRA, FST, Tunis : 89-93.

Lahlou M., Badraoui M., et Souidi B., 2000 : Modélisation de l'évolution de la salinité et de l'alcalinité dans les sols irrigués. Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux', Rabat, 2-3 Novembre 2000 pages 135-151.

Lasram M., 1995 : Comportement des plantes en milieu salé et placé en pourtour méditerranéen A.C.R. AcadAgric 81(02) 47-60 pp.

Lemzeri H., 2006 : Réponses écophysiologicals de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. gomphocephala* et *S.molle*) soumise à un stress salin. Mémoire de Magister : Université Costantine. P.180.

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.

Levigneron 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).

Loretti E., De Bellis L., Alpi A., & Perata P., 2001 : Why and how do plant cells sense sugars, *Ann Bot* **88** : 803 - 812 p.

Maathuis F.J.M., Sanders D., 1996 : *Mechanism of potassium absorption by higher plant roots*. *Physiologia Plantarum*.p. 158-168.

Mahnane W., 2010 : Appréciation de la diversité génétique du genre *Rétama* par les marqueurs biochimiques. Thèse Magister Université Mentouri Constantine pp :5-6.

Maillard J., 2001 : Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. Handicap International. Novembre 2001. 35p

Martinez V., et Laichli A., 1993 : Effects of Ca^{2+} on the salt – stress responses of barley root as observed by in vivo ^{31}P -nuclear magnetic resonance and in-vitro analysis. *Planta*, 190: 519-524.

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

Messirdi R., 2004 : Étude cytogénétique de *Rétama retam*. mémoire d'ingénieur d'état en biotechnologie, USTO ; 12-25p.

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

Mittler R., 2000 : *Living under a dormant canopy : a moléculaire acclimations mécanisme of the désert plant Rétama rætame.the plant journal.* Blackwell Science, L.td. (2001) **25**(4), 407-416.

Morris L.C., Thompson J.F., & Johnson C.M., 1969 : Métabolisme of glutamic and Nacetyl glutamic acid in leaf disc and cell-free extracts of higher plants.

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

Mouellef A., 2010 : Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur(*Triticum durum Desf.*) au stress hydrique. Thèse de Magistère Université Mentouri Constantine.

Mrabet, H. 2003. Dictionnaire de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Edition RERTT. Paris, 119p.

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.

Murakeazy E.P., Nagy Z., Duhaze Bouchereau A., Tuba Z., 2003 : Seasonl changes in the levels of compatible osmolytes in three halophytic species of inland saline vegetation in Hungary, J Plant Physiol. 160 :395-401.

Ohta K., Ito N., Hosoki T., Sugi Y., 1990 : Influences of potassium chloride and potasium sulphate supplement on fruit quality, yield and pant. Growth of cherry tomato in solution culture. Bull. Fac. Agro. Shimane Uni., 24. 252-257 pp.

Ouerghi Z., Zid E., Hajji M., et Soltani A., 2008 : Comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum* L.)en milieu salé.CIHEAM-Options Méditerranéennes : 309 -313.

Ozenda P., 1958 : flore du Sahara septentrional et centrale .CNRS, Paris. 486p.

Parida A.K., Das A.B., 2005 : Salt tolerance and salinity effect on plants :review. Ecotoxicology and Environnemental Safety. Vol. 60, pp. 324-349.

Quezel et Santa, 1962 : Nouvelle flore de l'Algérie. Tome I.p156-162.

Rahmoune C., Maâlem S., et Bennaceur M., 2001 : Effets comparés de la fertilisation phosphatée sur l'Atriplex cultivé en zone semi-aride du Nord-Est algérien, revue UMC, vol N°13-2011, p 123-134

Rhoades J.D., Kandiah A., Mashali A.M., 1992 : *The use of saline water for crop production, Irrigation and drainage.* Rome : F.A.O. n. 48. 140p.

Rush D-W., Epstein E., 1981 : Breeding and selection for salt-tolerance by incorporation of wild germplasm into domestic tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. (106) : 699-704 p.

Sairam R.K., Tyagi A., 2004 : Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. Current science, 2004, Vol. 86, n. 3, p.407.

Savouré A., Jaoua S., Hua XueJun Ardiles W., Van Montagu M., & Verbruggen N., 1995 : Isolation, characterization, and chromosomal location of a gene encoding the DELTA 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase in *Arabidopsis thaliana*. *FEBS Letters* .372: 13 -19 p.

Selami N., 2000 : Contribution à l'étude de rétama monosperma étude du système racinaire et recherche des associations de type Rhizobium. Mémoire d'ingénieur en biotechnologie. USTO. ORAN .38P.

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

Snoussi S., 2001 : Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées. Thèse doctorat : I.N.A. El-Harrach. Alger.152p.

Snoussi S.A., et Halitim A., 1998 : Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Etude et gestion des sols, pp. 289- 298.

Song J., Feng G., Tian C., et Zhang F., 2006 : Traits ajustement osmotique de Suaeda physophora, les ammodendron Haloxylon et persicum Haloxylon dans le champs ou en condition contrôlées. Plant Science, n.170, p :113-119

Stragomov E., 1964 : Physiological basic of salt tolerance Trad per Israel program for scientific translations, 279p.

Sutinen M.L., Repo T., Sutien S., Lasarow H., Alvila L., et Pakkane T.T., 2000 : Physiological changes in Pinussylverstris needles durin early spring under sub-artic condition. For EcolMang, 217-227p.

Szabolcs I., 1989: Salt-affected Soils CRC Press Inc., Florida, 274 p.

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

Troll W., et Lindsay J., 1955 : A photometric method for determination of proline. J. Biol. Chem, vol 215 : pp 655-660.

Taalouche Belhaj Nouha., 2012 : Sélection précoce pour l'identification de nouvelles sources de tolérance à la salinité chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de mastère. Universite de carthage,110p.

Valladares F. P., Villar-Salvador S., Dominguez M., Fernandez-Pascual J.L., Peñuelas & F.I., Pugnaire, 2002 : Enhancing the early performance of the leguminous shrub *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss.: fertilisation versus Rhizobium inoculation. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. Plant and Soil. 240. 253– 262.

Zid E., Ouerghi Z., Hajji M., Soltani A., 2008 : Comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum* L.) en milieu sale. FST, INRST, Tunis: 309-313.

Zid E., et Grignon C., 1991 : Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes auxstress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. Aupelf-Uref, John Libbey. Eurotext, Paris, pp. 91-108.

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

