

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS - MOSTAGANEM**



**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**

**DEPARTEMENT DE BIOLOGIE**

**MEMOIRE DE MAGISTER EN BIOLOGIE**

**Option**

*Sciences des Sols et de l'Environnement*

**Présenté par Monsieur**

**ZOURGUI Mohamed**

**Sous le thème :**

**« Action combinée de la bentonite et de la salinité sur les  
paramètres hydriques, biochimiques et minérales chez  
le Radis (*Raphanus sativus L.*) »**

**Composition du jury de Soutenance**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Appartenance administrative</b>	<b>Qualité</b>
KOURI Lakhdar	Pr	Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem	Président
BOUTIBA Abdelkader	Pr	Université Hassiba Ben Bouali - Chlef	Examineur
MEKHALDI Abdelkader	M.C.A	Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem	Examineur
CHADLI Rabah	M.C.A	Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem	Rapporteur
REGUIEG YSSAAD Houcine Abdelhakim	Pr	Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem	Co-Rapporteur

**Année Universitaire : 2014/2015**

# Remerciements

Je souhaite remercier toutes les personnes qui m'ont permis de mener à bien ce modeste travail. Tout d'abord, mon directeur de recherche, Dr Chadli Rabah, qui m'a offert l'opportunité de travailler au sein de son laboratoire et de son équipe. Je le remercie de ses conseils d'ordre professionnels et personnels ainsi que de sa transmission de la curiosité.

Pour la même occasion, je profite pour remercier mon co-directeur, le Professeur Reguig Hocine, qui m'a soutenu tout au long de mon projet et m'a fait part de nombreux commentaires constructifs. Aussi, je tiens à remercier le Professeur Belkhodja Moulay pour son aide pertinente et sa disponibilité lors de mon passage dans son Laboratoire. Je lui exprime ici toute ma reconnaissance.

Je remercie vivement les membres du jury, qui ont accepté d'évaluer mon travail et participer au jury.

Je tiens également à remercier chaleureusement mes collègues et amis de la direction de l'environnement de la wilaya de Chlef, du bureau d'hygiène de l'APC de Beni Messous d'Alger, sans eux je n'aurais pu mener à bien ce projet aussi correctement et agréablement.

Mes remerciements vont également à Monsieur le Directeur de l'environnement de la wilaya de Chlef M<sup>r</sup> Ben Rabah Nour Eddine, pour m'avoir aidé à réaliser ce travail.

Mes remerciements vont également à M<sup>r</sup> Kahl elrassé kamel, M<sup>e</sup> Bekat feriel, M<sup>e</sup> Taouil khadidja, M<sup>e</sup> Khachine hayat elnoufous, M<sup>r</sup> riouar youcef, M<sup>r</sup> Boukhannoufa AEK et M<sup>r</sup> Mekki hamid, pour leur agréable compagnie au sein de l'APC de Beni Messous d'Alger.

Enfin, qu'il me soit permis de remercier très sincèrement toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse.

# DEDICACES

Au nom du tout puissant ALLAH

A l'âme de ma mère

A mon père qui m'a communiqué sa passion et son savoir faire, pour ses sacrifices et son dévouement.

A mes frères et sœurs.

A tous ceux qui ont fait de moi un scientifique...

Mohamed



## Résumé

Dans les régions arides et semi arides, la salinisation du sol constitue une contrainte écologique majeure. A l'inverse des halophytes tolérantes aux sels, la plupart des espèces végétales sont rangées dans le groupe des glycophytes, dont les processus physiologiques et biochimiques sont affectés en présence de sel. Les sols riches en chlorure de sodium sont caractérisés par une abondance des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ . Les ions  $\text{Na}^+$  perturbent l'absorption des cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$ ) ; alors que l'accumulation excessive du chlore diminue l'absorption des anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) indispensables à la croissance et au développement des végétaux en particulier les nitrates, les nitrites et les sulfates.

Les impacts de la salinité sur le développement et le rendement des végétaux sont aussi nombreux que difficiles à hiérarchiser. Les ions chlorure et sodium entrent dans les plantes par les racines et sont véhiculés par les tissus conducteurs. Ces mécanismes de tolérance ou de sensibilité sont expérimentalement investigués sur le Radis, cultivée sous régime croissant de sels (50 et 100 meq.g.l<sup>-1</sup> de NaCl) sur un sol sableux avec 07 % et 10 % de bentonite.

La salinité provoque une accumulation accrue de la proline. Les teneurs de cet acide aminé augmente au fur et à mesure que la concentration saline augmente et aussi selon l'organe et le stade de croissance. Ainsi la production de proline est d'autant plus marquée que l'intensité des traitements est importante et les feuilles sont jeunes c'est à dire en conditions de multiplication cellulaire intense.

Les variations de la teneur en proline évoluent dans des proportions plus ou moins faibles suivant les différents types de sol et la station étudiée.

Les données obtenues montrent que l'exposition des plantules de (*Raphanus sativus* L.), à la salinité s'est traduite par une chute de la croissance surtout de la partie aérienne, mais avec un sol amendé de bentonite, les plantules des trois stations montrent une grande adaptabilité. L'effet de la salinité n'est pas homogène pour tous les organes.

Cet effet dépressif sur la croissance s'est accompagné de modifications cationiques. L'accumulation des solutés compatibles induit elle aussi une diminution du potentiel hydrique et permet donc l'absorption de l'eau de l'environnement.

**Mots-clés :** Sols, stress salin, bentonite, proline, chlorophylle, *Raphanus sativus* L.

## ملخص

في المناطق الجافة و شبه الجافة، ملوحة التربة هو العائق البيئي الرئيسي. و على عكس النباتات الملحية المقاومة للملوحة ، تصنف معظم الأنواع النباتية في مجموعة من *glycophytes*، حيث العمليات الفسيولوجية و البيوكيميائية لها تتضرر بوجود الملح. وتتميز التربة الغنية بكلوريد الصوديوم بغلبة أيونات الصوديوم و الكلور. تراكم أيونات الصوديوم تخل بامتصاص الكاتيونات ( $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  et  $Ca^{2+}$ )، و كذا التراكم المفرط للكلور يقلل امتصاص الأنيونات ( $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$   $CO_3^{2-}$ ) الضرورية للنمو وتطور النباتات على وجه الخصوص النترات و النتريت و الكبريتات.

تأثيرات الملوحة على نمو و مردودية النباتات جد كثيرة و يصعب تحديدها. أيونات الصوديوم و الكلوريد تدخل الى النباتات عن طريق الجذور و يتم نقلها من قبل الأنسجة الموصلة. و يتم التحقيق في آليات المقاومة أو الحساسية للملوحة تجريبيا على نبات الفجل، مزروع في ظل نظام زيادة الملح (50 و 100 ملي مكافئ من كلوريد الصوديوم) على تربة رملية مع 07 % و 10 % من البنتونيت. الملوحة تؤدي إلى زيادة تراكم البرولين . مستويات هذه الأحماض الأمينية يزيد تدريجيا مع زيادة تركيز الملح و كذلك تؤثر على الاعضاء النباتية و مرحلة النمو . وبالتالي إنتاج البرولين يكون أكثر وضوحا عند التطبيق المكثف لعملية التملح و في مرحلة تكون الأوراق فتية أي في ظل ظروف تكاثر الخلايا المكثف. والتغيرات في محتوى البرولين يتغير بالزيادة و النقصان وفقا لأنواع مختلفة من التربة ومحطة دراستها.

وتشير البيانات إلى أن تعرض نبات (*Raphanus sativus L.*) للملوحة يؤدي الى انخفاض في النمو وخاصة في الجزء العلوي ، ولكن مع التربة المعدلة بالبنتونيت ، نباتات الثلاث محطات أظهرت القدرة على التكيف. مع ان تأثيرات الملوحة ليست موحدة لجميع الأعضاء. ورافق هذا التأثير السلبي على النمو تعديلات كاتيونية. و تراكم المواد المذابة تؤدي لانخفاض الجهد المائي وتتيح امتصاص المياه من البيئة.

**الكلمات المفتاحية:** التربة، الإجهاد الملحي، البنتونيت، البرولين، الكلوروفيل، الفجل.

## Summary

In arid and semi-arid regions, soil salinity is a major environmental stress. Conversely halophytic tolerant salts, most plant species are classified in the group of glycophytes, whose physiological and biochemical processes are assigned in the presence of salt. Soils rich in sodium chloride are characterized by an abundance of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions. The Na<sup>+</sup> ions disturb absorption of cations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> and Ca<sup>2+</sup>), so that excessive accumulation of chlorine decreases absorption of anions, essential for the growth and development of plant particularly nitrates, nitrites and sulfates.

The impact of salinity on the development and yield of plants are numerous and difficult to prioritize. The sodium and chloride ions enter the plants via the roots and are conveyed by the conductive tissues. These mechanisms of tolerance or sensitivity are experimentally investigated on radish, grown under increasing salt diet (50 et 100 meq.gl<sup>-1</sup> NaCl) on a sandy soil with 07 % and 10 % bentonite.

The salinity causes an increased accumulation of proline. The levels of this amino acid increases gradually as the salt concentration increases and also as the member and the stage of growth. Thus the production of proline is more marked as the intensity of treatment is important and that the leaves are young ie under conditions of intense cell multiplication.

Changes in proline content evolve in a greater or less weak according to different soil types and the station studied.

The data show that the exposure of seedlings (*Raphanus sativus* L.), salinity resulted in a fall in growth especially of the aerial part, but with an amended soil bentonite, seedlings of three stations show great adaptability. The effect of salinity is not uniform for all organs.

This depressive effect on growth was accompanied by cationic modifications. The accumulation of compatible solutes also induces a decrease in the water potential and thereby allows the absorption of water from the environment.

**Keywords :** Soil, salt stress, bentonite, proline, chlorophyll, *Raphanus sativus* L.

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01:</b> L'extraction de bentonite dans différents pays du monde en 1998-2006.....	09
<b>Tableau 02:</b> Production de la bentonite : période 2000- 2008(D.G.M., 2009).....	09
<b>Tableau 03:</b> Analyse chimique de la bentonite naturelle utilisée (% en poids) (ENOF,1997).....	11
<b>Tableau 04:</b> Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite de Mostaghanem (ENOF, 1997).....	11
<b>Tableau 05:</b> Caractéristiques minéralogiques de la bentonite (ENOF,1997).....	11
<b>Tableau 06:</b> composition granulométrique de la bentonite de Mostaghanem (ENOF, 997).....	12
<b>Tableau 07 :</b> les minéraux et oligo-éléments dans le Radis.....	32
<b>Tableau 08:</b> poids de chaque dose de Bentonite.....	37
<b>Tableau 09:</b> composition de la solution saline.....	37
<b>Tableau 10:</b> Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs relative en eau des feuilles et des racines de <i>Raphanus sativis</i> L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en entonite.....	47
<b>Tableau 11:</b> Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en pigment chlorophylle de <i>Raphanus sativis</i> L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en.bentonite.....	51
<b>Tableau 12:</b> Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en proline des feuilles et des racines de <i>Raphanus sativis</i> L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.....	53
<b>Tableau 13:</b> Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en sodium des feuilles et des racines de <i>Raphanus sativis</i> L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.....	58
<b>Tableau 14:</b> Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en potassium des feuilles et des racines de <i>Raphanus sativis</i> L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.....	60
<b>Tableau 15:</b> Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en calcium des feuilles et des racines de <i>Raphanus sativis</i> L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.....	62
<b>Tableau 16:</b> Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) du rapport potassium/sodium des feuilles et des racines de <i>Raphanus sativis</i> L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.....	68

## Liste des Figures :

<b>Figure 01</b> : Triangle de texture (UNIFA, 2005).....	06
<b>Figure 02</b> : <i>Raphanus sativus</i> L.....	27
<b>Figure 03</b> : descriptive d'une fleur et un Fruit cylindrique, (source : <a href="http://www.tela-botanica.org">www.tela-botanica.org</a> ).....	29
<b>Figure 04</b> : la poudre de Bentonite.....	34
<b>Figure 05</b> : les graines de Radis.....	35
<b>Figure 06</b> : la serre semi contrôlée, au département de Biologie de l'Université d'es-senia à Oran.....	36
<b>Figure 07</b> : Schéma du diapositif expérimental.....	38
<b>Figure 08</b> : photos du dispositif expérimental 01 semaine après semis.....	39
<b>Figure 09</b> : photos du dispositif expérimental 02 semaine après semis.....	39
<b>Figure 10</b> : spectrophotomètre UV (model optizen 2120UV).....	41
<b>Figure 11</b> : Formation des deux phases du matériel végétal.....	42
<b>Figure 12</b> : four à moufle marque Nobertherm.....	43
<b>Figure 13</b> : spectrophotomètre à flamme marque Jenway.....	44
<b>Figure 14</b> : Teneur relative en eau (%) des feuilles des plantes de <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées en l'absence de Bentonite et stressées à la salinité.....	45
<b>Figure 15</b> : Teneur relative en eau (%) des feuilles des plantes de <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées à 07 % de Bentonite et stressées à la salinité.....	46
<b>Figure 16</b> : Teneur relative en eau (%) des feuilles des plantes de <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées à 10 % de Bentonite et stressées à la salinité.....	46
<b>Figure 17</b> : Teneur en chlorophylle des feuilles des plantes de <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées en l'absence de Bentonite et stressées à la salinité.....	49
<b>Figure 18</b> : Teneur en chlorophylle des feuilles des plantes de <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées à 07 % de Bentonite et stressées à la salinité.....	50
<b>Figure 19</b> : Teneur en chlorophylle des feuilles des plantes de <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées à 10 % de Bentonite et stressées à la salinité.....	53
<b>Figure 20</b> : Teneur en proline ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	51
<b>Figure 21</b> : Teneur en proline ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	52
<b>Figure 22</b> : Teneur en proline ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	53

<b>Figure 23</b> : Teneur en sodium ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	56
<b>Figure 24</b> : Teneur en sodium ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	57
<b>Figure 25</b> : Teneur en sodium ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	57
<b>Figure 26</b> : Teneur en potassium ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	59
<b>Figure 27</b> : Teneur en potassium ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	59
<b>Figure 28</b> : Teneur en potassium ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	60
<b>Figure 29</b> : Teneur en calcium ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	61
<b>Figure 30</b> : Teneur en calcium ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	61
<b>Figure 31</b> : Teneur en calcium ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	62
<b>Figure 32</b> : Rapport potassium/sodium dans les feuilles et racines des plantes de <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	66
<b>Figure 33</b> : Rapport potassium/sodium dans les feuilles et racines des plantes de <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées à 07% de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	67
<b>Figure 34</b> : Rapport potassium/sodium dans les feuilles et racines des plantes de <i>Raphanus sativus</i> L. cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.....	67

## Liste des abréviations

% : pourcentage.  
°c : degré celsius.  
Al<sup>3+</sup> : aluminium.  
Ca<sup>2+</sup> : calcium.  
CEC : capacité d'échange cationique.  
Chl : chlorophylle.  
Chla : chlorophylle a.  
Chlb : chlorophylle b.  
Cl<sup>-</sup> : chlore.  
Cm<sup>3</sup> : centimètre cube.  
CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> : carbonate.  
DH : déficit hydrique.  
ENOF : Entreprise Nationale des produits miniers non-Ferreux et des substances utiles filiale du groupe public BENTAL SPA.  
ESP : échangeable sodium pourcentage.  
F : test de Fisher.  
FAO : organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.  
Fig : Figure.  
g : gramme.  
H<sup>+</sup> : hydrogène.  
h : heure.  
ha : hectare.  
HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> : bicarbonate.  
INCID : Institut national des sols, de l'irrigation et du drainage.  
INRA : institut national de la recherche agronomique.  
ITCMI : Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles  
K<sup>+</sup> : potassium.  
Kcal : kilocalorie.  
Km<sup>2</sup> : kilomètre carré.  
Kt : kilotonne.  
L : litre.  
m<sup>2</sup> : mètre carré.  
meq : milliéquivalent.  
mg : milligramme.  
Mg<sup>2+</sup> : magnésium.  
µg : microgramme.  
ml : millilitre.  
mln t : million tonne.  
M.O : matière organique.  
Na<sup>+</sup> : sodium.  
NaCl : chlorure de sodium.  
Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> : carbonate de sodium.  
NaHCO<sub>3</sub> : bicarbonate de sodium.  
NH<sub>4</sub><sup>+</sup> : ammonium  
pH : potentiel hydrogène.  
RWC : relative water content.  
SAR : le ratio d'absorption du sodium.  
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> : sulfate.  
t : tonne.  
Tab : tableau.

# Sommaire

Remerciement

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumé

Introduction.....01

## 1<sup>ère</sup> partie Données bibliographiques

### I. Données bibliographiques

1. le sol.....04

1.1. Les propriétés physico-chimiques des sols .....04

1.2. Les classes texturales des sols .....05

a. L'argile.....05

b. Le limon.....06

c. Le sable.....06

2. La Bentonite .....07

2.2. Origine de la Bentonite.....08

2.3. Importance de la Bentonite dans le monde .....08

2.4. Importance de la bentonite en l'Algérie .....09

2.5. Utilisation de la Bentonite .....10

2.6. Propriétés de la bentonite.....10

a.L'hydratation interne ou gonflement.....10

b.Cations échangeables et adsorption.....10

2.7. Les Caractéristiques physico-chimiques des argiles bentonitiques.....11

2.8. La bentonite et le sol.....12

### II. La salinité

1. Répartition de la salinité .....12

1. 1 Dans le monde .....13

1.2 En Algérie.....14

2. Les types de la salinisation .....15

La salinisation globale .....15

La sodisation ou alcalisation .....15

L'alcalinisation .....15

3. Origines et cause de la salinité des sols .....15

3.1. Salinisation primaire .....16

1.1 Salinisation géologique .....16

1.2 Salinisation marine et lagunaire .....16

3.2. Salinisation secondaire .....17

2.1 Les pratiques agricoles .....17

2.2 Rejets urbains domestiques .....17

2.3 Rejets salins industriels .....18

<b>4. Effet de la salinité sur le sol et les végétaux</b> .....	18
<b>4.1. Effet sur le sol</b> .....	18
<b>4.2. Effet sur les végétaux (effet de Stress)</b> .....	18
2.1 Notion de stress .....	19
2.2 Les facteurs de stress .....	19
Les facteurs de stress Biotiques (agents vivants) .....	19
Les facteurs de stress abiotique (facteurs non vivants) .....	19
2.3 Evaluation de la tolérance ou de la résistance au stress .....	20
<b>5. Le stress Salin</b> .....	20
<b>5.1. Effet de la salinité sur les plantes</b> .....	20
1.1. L'effet de la salinité sur la croissance .....	20
1.2. L'effet de la salinité sur l'eau dans la plante .....	21
1.3 L'effet de la salinité sur les pigments photosynthétiques et les protéines...21	
1.4 L'effet de la salinité sur le taux des ions .....	21
<b>5.2. Les stratégies d'adaptation des plantes à l'excès de sel</b> .....	22
2.1 La résistance par régulation/exclusion .....	22
2.2 La résistance par tolérance/inclusion .....	22
<b>5.3. Mécanismes de résistance à la salinité chez les végétaux</b> .....	23
3.1 Homéostasie cellulaire .....	23
3.2 Séquestration du sodium dans des vacuoles .....	24
3.3 Prélèvement de K <sup>+</sup> .....	24
3.4 Biosynthèse d'osmoprotectants .....	24
3.5 Régulation de croissance .....	24
3.6 Accumulation de la proline .....	25
<b>III. Présentation de l'espèce</b> .....	26
<b>1. Famille des Brassicacées</b> .....	26
<b>2. Le Radis</b> .....	27
<b>3. Origine du radis</b> .....	27
<b>4. Description du radis</b> .....	28
Description	
<b>5. Taxonomie de Radis</b> .....	29
Radis national	
<b>6. Ecologie</b> .....	30
6.1 Variétés les plus cultivées en Algérie .....	30
<b>7. Importance du Radis</b> .....	30
<b>7.1 Importance économique</b> .....	31
Intérêts industrielles .....	31
Intérêts médicinales .....	31
Intérêts nutritionnels et alimentaires .....	32
<b>7.2 Importance écologiques et environnementaux</b> .....	32
Intérêts écologiques .....	32
Intérêts écotoxicologiques .....	32

## 2<sup>eme</sup> partie Matériel et méthodes

<b>I. Matériel et méthodes</b> .....	34
<b>1. Dispositif expérimental</b> .....	34
1. Caractéristiques de la bentonite .....	34
2. Choix de l'espèce végétale .....	35
3. Condition de culture .....	35
4. Substrat .....	36
5. Prélèvement des échantillons .....	37
6. Plan de l'expérimentation .....	38
<b>II. Les paramètres écophysologiques étudiés</b> .....	40
<b>1. Les paramètres hydriques</b> .....	40
1. La teneur relative en eau (TRE ou RWC) .....	40
<b>2. Les paramètres biochimiques</b> .....	40
1. Extraction et dosage des pigments chlorophylliens .....	40
2. Dosage de la proline .....	41
<b>3. Les paramètres minéraux</b> .....	43
Dosage de sodium, calcium et potassium .....	43
<b>4. Traitement et analyse statistique</b> .....	44

## 3<sup>eme</sup> partie Résultats obtenus et Discussions

### Résultats obtenus et Discussions

<b>I. Bilan hydrique</b> .....	45
<b>1. Détermination de la teneur relative en eau</b> .....	45
1.1 Sans traitement à la Bentonite .....	45
1.2 à 07% Bentonite .....	45
1.3 à 10% de Bentonite .....	46
<b>DISCUSSIONS</b> .....	47
<b>II. Bilan Biochimique</b> .....	49
<b>2-1 Pigments Chlorophylliens</b> .....	49
1. Sans traitement à la Bentonite .....	49
2. à 07% de Bentonite .....	49
3. à 10% de Bentonite .....	50
<b>2-2 Proline</b> .....	51
1. Sans traitement à la Bentonite .....	51
2. à 07% de Bentonite .....	52
3. à 10% de Bentonite .....	52
<b>DUSCUSSION</b> .....	53
<b>III. Bilan minéral du sodium ; potassium et du calcium dans la plante (feuilles et racines)</b> .....	56
<b>A- Teneur en sodium</b> .....	56
1. Sans traitement à la Bentonite .....	56
2. à 07% de Bentonite .....	56
3. à 10% de Bentonite .....	57

B- Teneur en potassium :.....	58
1. Sans traitement à la Bentonite .....	58
2. à 07% de Bentonite .....	59
3. à 10% de Bentonite .....	59
C- Teneur en calcium :.....	60
1. Sans traitement à la Bentonite .....	60
2. à 07% de Bentonite .....	61
3. à 10% de Bentonite .....	62
DUSCUSSION .....	63
Etude du ratio K <sup>+</sup> /Na <sup>+</sup> selon les organes de la plante :.....	66
1. Sans traitement à la Bentonite .....	66
2. à 07% de Bentonite .....	67
3. à 10% de Bentonite .....	67
DUSCUSSION .....	69

#### 4<sup>eme</sup> partie Conclusion Générale

Conclusion Générale .....	71
---------------------------	----

Références bibliographiques

Annaxe

# Introduction

## **Introduction :**

La salinité constitue un problème majeur à l'équilibre écologique et au développement de l'agriculture dans le monde entier, particulièrement le bassin méditerranéen et l'Afrique du Nord, ce phénomène est considéré comme un facteur abiotique le plus important limitant la croissance et la productivité de plantes cultivées, dégradant et polluant les sols dans les zones arides et semi-arides (Reguieg et *al.*, 2012). La salinité c'est un Facteur écologique limitant de nombreux écosystèmes. (Ramade, 2008).

La salinité excessive affecte la rhizosphère et limite la répartition des plantes dans leur habitat naturel. Le fort éclaircissement et les rares pluies dans les régions semi-arides et arides accentuent la salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures. (Denden and *al.*, 2005).

La salinisation est une résultante globale de plusieurs processus chimiques et hydrologiques qui se produisent dans les sols. Il est impossible de prendre en compte les processus sans caractériser l'environnement physique et bio-géo-chimique ainsi que les pratiques hydro-agricoles qui peuvent avoir un impact sur ces derniers.

Si les effets de la salinisation sont connus, les connaissances sur ces mécanismes, relevant d'un ensemble de processus physico-chimiques, restent insuffisantes pour mener un diagnostic précis et pour évaluer des risques. Cette dernière est une étape indispensable avant de mettre en œuvre des mesures pour stopper ou limiter le processus de dégradation (Condom, 2000).

Dans le stress salin, une double problématique se pose à l'organisme végétal : d'une côté, la présence de sel, en abaissant le potentiel hydrique du sol, menace l'approvisionnement en eau de la plante, de l'autre, l'absorption de sel dans les tissus menace le bon fonctionnement physiologique des cellules.

Pour valoriser les zones salines et/ou les zones n'ayant que des ressources en eau saumâtre, il est impératif de sélectionner des variétés capables de se développer et de produire dans ces zones. (Cheikh m'hame, 2008).

En région méditerranéenne, la salinité constitue une contrainte dans beaucoup de périmètres de grandes cultures où la qualité de l'eau et le type de climat jouent un rôle majeur et où la recherche de plantes adaptées à des seuils élevés de salinité devient un impératif pour la production agricole.

L'expansion du phénomène de salinisation des sols en Algérie constitue un domaine d'investigation qu'il faut à tout prix privilégier car il représente une menace certaine et « sournoise » qui risque d'hypothéquer à terme l'avenir économique et social de certaines régions du pays. (I.N.C.I.D, 2008)

La sélection variétale, nécessite la connaissance des mécanismes responsables de la tolérance du végétal à la salinité (Daie, 1988).

La réussite de cultures en sols salés ou par irrigation par des eaux saumâtres dépend non seulement de facteurs physiologiques, tels que résistance des plantes au Chlorure de Sodium ou de la disponibilité de l'eau, mais aussi des propriétés physiques et mécaniques des sols, lorsqu'elles sont modifiées par le taux de salinité et peuvent influencer sur le développement des plantes. (Sigala et *al.*, 1989).

Les enjeux de ces études sont nombreux ; et notre compréhension détaillée des mécanismes du stress osmotique et ionique pourrait ouvrir la voie à une meilleure maîtrise de nos pratiques agronomiques en milieu saumâtre.

Cependant, c'est dans cette perspective que s'intègre l'action de mise en valeur des sols cultivés en introduisant la bentonite Cette action conduira à l'augmentation de la capacité d'échange cationique (Dejou, 1987). D'autres auteurs assurent que l'apport de la bentonite dans les sols sableux améliore ces propriétés physiques et hydriques (Benkhelifa et Daoud, 1998 ; halilat et Tessier, 2006).

Nous avons retenu dans ce travail une variété de Radis (*Raphanus sativus L.*), comme matériel végétal de base pour étudier l'effet de la salinité sur les réponses métaboliques, hydriques et chimiques de cette espèce. Les essais ont été réalisés en présence de deux concentrations de NaCl (50 et 100 meq.l<sup>-1</sup>) et de bentonite (7% et 10%) afin de préciser les limites de tolérance des plantules au stress salin.

Afin de caractériser cette réponse dans nos conditions expérimentales :

- nous abordons nos expérimentations par une étude des paramètres Ecophysiologiques chez des plantes conduites sous régime salin ;
- nous poursuivrons notre travail par une étude de la teneur en pigments chlorophylliens chez des jeunes plantes. .
- Dans une troisième étape, nous proposons une analyse des variations de la proline chez ces plantes dans les mêmes conditions de stress.
- Et enfin, nous achevons ce modeste travail par un dosage de quelques cations chez des plantes stressées à la salinité.

# **Données Bibliographiques**

## **I. Données Bibliographiques :**

### **1. le sol**

Le sol est la partie superficielle de la croûte terrestre modifiée par les agents atmosphérique (pluie, vent, alternance de chaud et de froid, etc.) et par les êtres vivants qu'il abrite (Heller *et al.*, 2004).

L'étude de la relation entre le sol et l'eau et même l'atmosphère est importante vue la complexité de ces relations, surtout le rapport entre le sol et l'eau qui présente de propriétés non constants, des conditions d'équilibre instable, du fait que tantôt il s'humidifie, tantôt il s'assèche, se compacte et subit des modifications structurales.

#### **1.1. Les propriétés physiques des sols :**

D'un point de vue physique le sol est un milieu poreux comporte 3 phases: une phase solide (minérale et organique), une phase liquide (solution du sol) et une phase gazeuse (air, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>).

La texture est résultante du mélange de terres fines et grossières dont les pourcentages varient d'un sol à l'autre. On appelle terre fine, la terre dont on a éliminé les cailloux et graviers de plus de 2 mm. Elle est constituée de sable, de limon et d'argile dont on peut connaître les proportions respectives grâce à l'analyse granulométrique, qui les classe selon leur taille, puis on détermine la texture du sol grâce au triangle (UNIFA, 2005).

#### **1.2. Les classes texturales des sols**

##### **a. L'argile**

Le terme argile correspond à l'ensemble des minéraux présentant une taille inférieure à 2 µm dans une roche (Folk, 1954). Ils sont beaucoup de plasticité et de cohésion. Le matériau argileux présente la particularité de voir sa consistance se modifier en fonction de sa teneur en eau. Dur et cassant lorsqu'il est asséché, un certain degré d'humidité le fait se transformer en un matériau plastique et malléable (M.E.D.A.D, 2007). Les sols argileux sont les plus difficiles à travailler et c'est la raison pour laquelle on les appelle les terres fortes.

## b. Le limon

Le limon est une roche meuble qui constitue la classe granulométrique regroupant les particules de calibres compris entre 50  $\mu\text{m}$  et 2 mm. Les particules limoneuses sont constituées de débris très fins et des particules minérales (quartz, mica et feldspath) qui libèrent des éléments nutritifs (aux plantes) rapidement. (Wiktionnaire, 2014).

Présente une plasticité et une cohésion modérées. Les sols limoneux se travaillent très bien et c'est la raison pour laquelle on les appelle les terres franches.

## c. Le sable

Le sable se caractérise par l'absence de cohésion et de plasticité. Il est très difficile de le mouler. Il a un toucher graveleux rude.

Les sols sablonneux sont faciles à travailler et c'est la raison pour laquelle on les appelle les terres légères.

Le sable très grossier est généralement considéré comme du gravier surtout quand il est angulaire et dur comme celui dérivé des granites et des granodiorites, la présence de M.O (Philippe et Alfred, 2008).

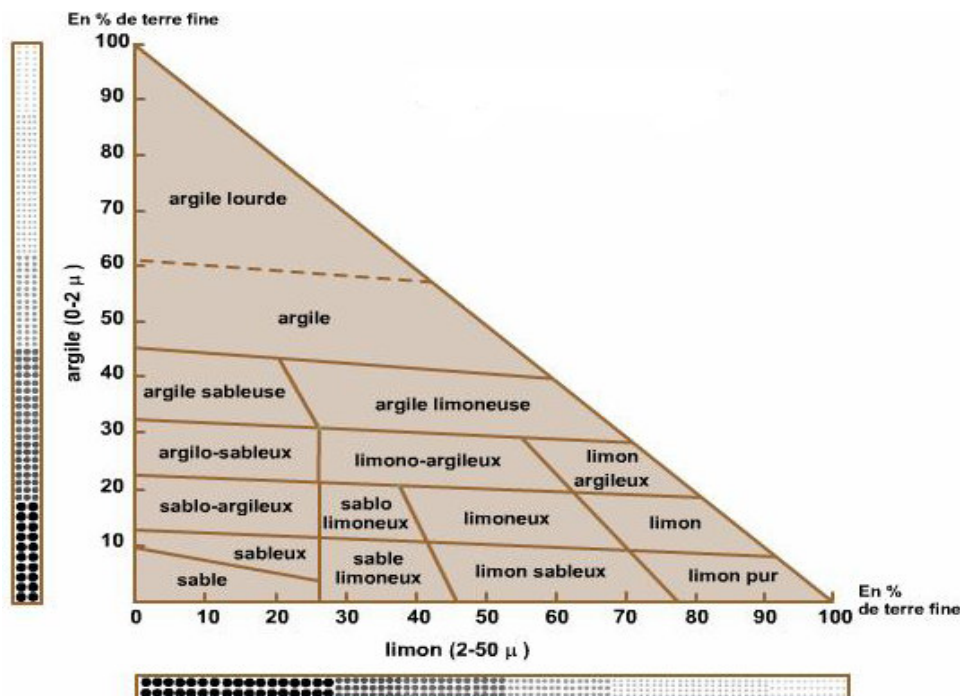


Figure n°01 : Triangle de texture (UNIFA, 2005).

## 2. La Bentonite :

La bentonite est le nom commercial désignant une famille de matériaux argileux constitués majoritairement de montmorillonite (de l'ordre de 80% ou plus) accompagnée de minéraux accessoires comme le quartz, les feldspaths, la calcite ou le gypse.

Le nom "bentonite" provient de fort Benton (Wyoming, les Etats-Unis), le lieu où elle a été trouvée pour la première fois. La bentonite est un matériau naturel très diversifié dont les propriétés physico-chimiques et mécaniques sont largement utilisées dans l'industrie.

Elle est une roche constituée d'argile colloïdale et plastique composée principalement de montmorillonite, du groupe smectique. Cette argile est produite à partir de la dévitrification in situ de la cendre volcanique. La transformation de la cendre en bentonite ne peut avoir lieu que dans l'eau (Bourbigot and *al.*, 2002).

Par rapport aux autres argiles, la bentonite a la propriété de gonfler au contact de l'eau en donnant un gel plus ou moins épais.

**Sur le plan minéralogique**, la bentonite est une poudre minérale constituée essentiellement d'un silicate d'alumine hydraté du groupe des Montmorillonites (famille des smectites) qui contient principalement les cations échangeables suivants : calcium, sodium, magnésium, potassium, et dans le gel de bentonite, les charges de surface sont négatives.

En raison de sa caractéristique particulière (gonflement), la bentonite est capable d'absorber de 7 à 10 fois son propre poids en eau et le gonflement jusqu'à 18 fois son volume à sec.

Il ya quelques types de bentonites et leurs noms dépendent des éléments dominants, tels que K, Na, Ca et Al. Selon leur origine les bentonites présentent des propriétés différentes.

Nous pouvons distinguer trois grands groupes de bentonites utilisées :

- les bentonites sodiques naturelles (gonflantes)
- les bentonites calciques naturelles (peu gonflantes).
- les bentonites activées (gonflement).

## 2.2. Origine de la bentonite

L'altération et la transformation hydrothermale de cendres des tufs volcaniques riches en verre entraînent la néoformation des minéraux argileux, qui font partie principalement du groupe des smectites. Les roches argileuses ainsi formées portent le nom de bentonite, d'après le gisement situé près de Fort Benton dans le Wyoming, (Etats-Unis) découverte en 1888. Elle contient plus de 75 % de montmorillonite. Cette dernière fut découverte pour la première fois en 1847 près de Montmorillon, dans le département de la Vienne (France). La bentonite est une dénomination de la montmorillonite.

Sa teinte est blanche, grise ou légèrement teinte de jaune. Elle provient de la dévitrification des couches volcaniques sous l'influence des eaux à réaction alcaline ou acide. En plus de la montmorillonite, cette terre peut contenir d'autres minéraux argileux (kaolinite, illite,...) ainsi que des impuretés sous forme de gypses, de carbonates,...etc.

## 2.3. Importance de Bentonite dans le Monde

De très nombreux gisements ont été découverts dans le monde. Dans leur état naturel, la plupart des gisements de bentonite sont hétérogènes ; ils sont constitués de smectites mélangées ou interstratifiées avec l'illite et/ou la kaolinite et d'autres impuretés (Laribi *et al.*, 2005).

D'après INFO MINE ; La réserve mondiale de bentonite dépasser 5,5 milliards de tonnes, dont 44% appartiennent à la Chine, et de 15% aux USA, environ 7% à la Turquie.

La plupart des dépôts dans tous les pays contiennent de la bentonite calcium (alcalino-terreux), alors que les bentonites à haute teneur en sodium (alcalin) de l'abondance sont beaucoup plus faibles, Les plus grandes réserves de bentonites alcalines sont disponibles aux Etats-Unis, la Turquie et l'Azerbaïdjan.

D'après les données de États-Unis Geological Survey (U.S.G.S) le volume annuel des mines d'argile de bentonite exploité pour la période de 2002 à 2006 a augmenté de 14,5% jusqu'à 11,8 mln t.

États-Unis est le principal producteur de bentonite avec une part de près de 40% monde suivie par la Grèce (8%) et Turquie (7.6%) (INFO MINE, 2007)

L'extraction de bentonite dans différents pays du monde en 1998-2006 est présentée dans Tableau n°01.

**Tableau n°01 : L'extraction de bentonite dans différents pays du monde en 1998-2006 (INFO MINE, 2007).**

Pays	Le Volume Exploité (Kt)								
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
USA	3820	4070	3760	3970	3970	3770	4550	4710	4620
Greece	950	950	950	950	950	950	950	950	950
Turkaey	565	900	636	674	559	831	850	925	900
CIS	700	750	750	750	750	750	750	750	800
Italy	590	500	500	500	500	500	500	500	500
Japan	443	428	415	406	438	426	455	450	450
Mexico	185	208	270	415	488	464	564	426	450
Germany	500	500	500	448	495	479	405	410	400
Brazil	220	275	275	179	185	199	227	227	221
Czech	125	160	280	224	174	199	201	200	200
Australia	104	180	180	180	200	200	200	200	200
Autres	2398	1579	1784	1704	1591	1732	1848	1952	2109
<b>Total</b>	<b>10600</b>	<b>10500</b>	<b>10300</b>	<b>10400</b>	<b>10300</b>	<b>10500</b>	<b>11500</b>	<b>11700</b>	<b>11800</b>

## 2.4. Importance de la bentonite en l'Algérie

En Algérie, les gisements de bentonite les plus importants économiquement se trouvent dans l'oranie (ouest algérien). On relève en particulier la carrière de Maghnia (Hammam Boughrara) dont les réserves sont estimées à un million de tonnes et de celle de Mostaganem (M'zila) avec des réserves de deux millions de tonnes.

La bentonite, est produite et commercialisée par la SPA BENTAL, filiale du groupe public ENOF, à travers ses deux (2) gisements précédents.

**Tableau n°02: Production de la bentonite : période 2000- 2008 (D.G.M, 2009)**

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Production en Tonne	22708	21282	27178	26485	30319	29029	27110	32600	30595

La tendance de la production de la bentonite depuis l'année 2000 est à la hausse malgré une évolution en dents de scie. De 22 708 tonnes produites en 2000, la

production de bentonite a atteint **32 600 tonnes** en **2007** soit une augmentation de + **43.56 %**. (D.G.M, 2009).

## **2.5. Utilisation de la bentonite :**

1. Géotextile, Ingénierie environnementale.
- 2 .Forage pétrolier.
3. Les céramiques.
- 4 .La peinture.
5. L'agroalimentaire.
6. La pharmacie et la cosmétique.
7. l'agronomie.

## **2.6. Propriétés de la bentonite:**

Les bentonites se caractérisent par une **capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de Gonflement**.

La bentonite se disperse facilement dans l'eau. On obtient une suspension dont les propriétés sont en fonction des caractéristiques suivantes:

### **- L'hydratation interne ou gonflement :**

Le caractère dipolaire des molécules d'eau a donné naissance à une ancienne théorie qui consistait à dire que la surface des argiles étant chargée négativement, les molécules d'eau s'orientaient de façon que leur extrémité positive soit dirigée vers l'argile et leur extrémité négative vers l'extérieur. Cette première couche d'eau forme alors une nouvelle surface négative ou d'autres molécules peuvent se fixer et ainsi de suite.

### **- Cations échangeables et adsorption:**

Les argiles ont la propriété d'adsorber certains anions et cations et de les retenir dans un état où ils sont échangeables avec d'autres ions en solution. Dans les argiles, les cations échangeables les plus communs sont par ordre décroissant:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{Na}^+$ .

Comme le cas de la montmorillonite, le motif cristallin présente une charge négative au sein du feuillet par suite de la substitution d'ions  $\text{Al}^{3+}$  par des ions  $\text{Mg}^{2+}$ , en couche octaédrique, et des ions  $\text{Si}_4^+$  par des ions  $\text{Al}^{3+}$  en couche tétraédrique.

Cette charge négative est évidemment compensée par un nombre équivalent de cations.

Pour des raisons de neutralisation électrique, ces cations se logent dans les espaces inter foliaires ainsi qu'à la surface des feuillets. Le cation majoritairement représenté conditionne largement les propriétés physico-chimiques des bentonites.

Le dosage des cations permet donc de déterminer la nature de l'argile: sodique, calcique ou magnésienne.

## 2.7. Les Caractéristiques physico-chimiques des argiles bentonitiques:

Les principales caractéristiques de cette bentonite sont regroupées dans les Tableaux ci-dessous

**Tableau n°03:** Analyse chimique de la bentonite naturelle utilisée (% en poids)  
(ENOF, 1997).

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	As
69.4%	14.7%	1.2%	1.1%	0.3%	0.5%	0.8%	0.2%	0.05%

Cette étude a été réalisée sur une bentonite provenant d'où de Mostaganem dont les caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques de cette argile sont présentées dans les tableaux n°04 et n°05.

**Tableau n°04:** Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite de Mostaganem  
(ENOF, 1997).

Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	Poids spécifique (g/cm <sup>3</sup> )	PH	Capacité D'échange (meq/100g)	Cations échangeables			
				Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na/Ca
65.00	2.71	9.00	75.80	43.60	25.20	4.80	0.52

**Tableau n°05:** Caractéristiques minéralogiques de la bentonite (ENOF, 1997).

IDENTIFICATION DES MINERAUX			
Montmorillonite	Quartz	Feldsphats	Biotite
45 à 60 %	15 à 20 %	03 à 05 %	08 à 10 %

Ces caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques font apparaître que la montmorillonite est la principale composante de la bentonite. Le cation majoritaire dans cette argile est le calcium, elle est donc calcique (Seghairi et *al.*, 2004).

Les résultats des analyses granulométriques sont rassemblés dans le tableau n° 06:

**Tableau n° 06:** composition granulométrique de la bentonite de Mostaghanem (ENOF, 1997).

Répartition des particules argileuses (en %) en fonction de leurs dimensions en (mm)				
1 - 0.06	0.06 - 0.01	0.01 - 0.005	0.005 - 0.001	Inf a 0.001
0.23	11.27	9.9	32.40	46.20

## 2.8. La Bentonite et le sol

La bentonite stimule la vie du sol grâce à sa grande capacité d'adsorption des microorganismes. Elle forme également des composés stables d'argile et d'humus (complexe argilo-humique) ce qui améliore la structure et la fertilité des sols.

La forte capacité de gonflement et de fixation de l'eau de la bentonite maintient le sol humide plus longtemps et le protège d'un dessèchement rapide.

Echangeur ionique naturel, la bentonite est un réservoir de minéraux facilement assimilables qui permet un dégagement optimal des substances nutritives en fonction des besoins des plantes.

## II. La salinité

En régions arides et semi arides les précipitations, faibles et occasionnelles, induisent un drainage climatique nettement déficitaire pendant la plus grande partie de l'année. Les écoulements, superficiels (oueds, marigots) ou hypodermiques, y sont le plus souvent temporaires.

Ils atteignent des zones de concentration qui sont les lieux privilégiés de manifestations salines dans les eaux et dans les sols.

L'importance de ces phénomènes de salinité dépend des apports hydriques et du bilan évaporatoire imposé par le climat. (Bouteyre et Loyer, 1992)

Ces écosystèmes arides et semi arides constituent environ 2/3 de la surface du globe terrestre (Ait Belaid, 1994). Dans Les écosystèmes, marqués par des sécheresses rigoureuses et fréquentes, la salinisation des sols se manifeste comme l'un des principaux facteurs limitant le développement des plantes.

L'accumulation de sels (et en particulier des sels de sodium) est une des principales menaces physiologiques qui pèsent sur les écosystèmes. Le sel perturbe le développement des végétaux en limitant leur assimilation des éléments nutritifs et en réduisant la qualité de l'eau à disposition pour les végétaux. Il affecte le métabolisme des organismes du sol et mène à une réduction importante de la fertilité du sol.

Un excès de sodium entraîne la destruction de la structure du sol qui, du fait du manque d'oxygène, devient incapable d'accompagner la croissance végétale ou la vie animale.

Il est possible de limiter l'ampleur prise par la salinisation des terres et des eaux par l'exploration des écosystèmes salins et l'identification des espèces halophytiques à potentialités économique et /ou écologique afin d'utiliser ces espèces naturellement tolérantes au sel pour la réhabilitation et la valorisation des sols salés (Belkhodja et Bidai., 2004).

## **1. Répartition de la salinité**

### **1. 1. Dans le monde**

Il est facile de se rendre compte des menaces que représente la salinisation dans le monde quand on sait que presque un tiers des terres émergées de la planète se situe en zone aride ou semi-aride (Williams, 1999) et que ces zones sont susceptibles d'être touchées par ce phénomène

Les estimations de la superficie totale représentée par les sols salsodiques dans le monde sont très variables d'un auteur à l'autre : pour Szablocs (1994), elle atteint 954832 millions d'hectare, pour Claud et *al.*, (2005) la superficie est estimée à environ 9.55 millions de Km<sup>2</sup>. soit une zone légèrement plus grande que l'Australie sont touchés par ce phénomène.

Les sols salés ont un caractère azonal. Ils se rencontrent dans toutes les parties du monde (servant, 1976 ; Durand, 1983), L'Afrique présente de vastes régions affectées par les sels ; environ 80 million hectares (notamment les zones arides et à proximité des grands fleuves) (Cherbuy, 1991).

L'Asie du sud présente une superficie de 87 million hectares (Szablocs, 1994). Et le continent le moins affecté par la salinisation est l'Amérique du Nord a 15 million hectares (Szablocs, 1994).

Au Maghreb et au Moyen-Orient, 15 millions d'hectares de terres agricoles sont sujets à une salinisation croissante (Kinet et *al.*, 1998).dont 3,2 millions d'ha en Algérie (Belkhodja et Bidai, 2004).

Chaque année, les surfaces perdues à cause de la salinité des sols varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. Ainsi, ces surfaces sont passées de 48 millions à 265 millions d'ha de terres agricoles touchées par la salinité et aujourd'hui, les surfaces agricoles affectées dans le monde seraient de 340 millions d'ha soit 23% des terres cultivées dans le monde, (Cheverry, 1995).

## 1.2. En Algérie

On rencontre plusieurs types de sols salés en Algérie localisés surtout dans les étages bioclimatiques arides et semi- arides (FAO ,2005).

Selon l'INSID (2008) ; 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. Néanmoins il existe quelques données fragmentaires qui donnent une idée générale sur le phénomène de salinité et de la dégradation des terres.

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.

le phénomène de salinisation est observé dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays (Mina, Cheliff, Habra Sig, Maghnia) dans les hautes plaines de l'Est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), aux abords des Chotts et de Sbkhas (Chott Ech Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir,Sebkha d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazhrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc..).

Selon M.A.D.R (2006) Le problème de salinité est rencontré pratiquement au niveau de la quasi-totalité des terres agricoles et les grandes régions touchées sont:

1 000 000 d'hectares au niveau de la Steppe,

400 000 hectares au niveau de la région Ouest (notamment au niveau des périmètres du Bas Chélif, de la Mina, de l'Habra Sig et de l'Oranie) ;

100 000 hectares au niveau des régions sahariennes.

## 2. Les types de la salinisation du sol

La salinisation est l'accumulation de sels hydrosolubles dans le sol. Ces sels sont le potassium ( $K^+$ ), le magnésium ( $Mg^{2+}$ ), le calcium ( $Ca^{2+}$ ), le chlorure ( $Cl^-$ ), le sulfate ( $SO_4^{2-}$ ), le carbonate ( $CO_3^{2-}$ ), le bicarbonate ( $HCO_3^-$ ) et le sodium ( $Na^+$ ). (D.A.T, 2001).

Et la salinisation en général regroupe plusieurs mécanismes de dégradation : la **salinisation globale**, la **salinisation alcaline** ou **alcalinisation** et la **sodisation** qui sont trois phénomènes différents.

**La salinisation globale :** La salinisation est l'accumulation des sels solubles dans la solution du sol et éventuellement la précipitation des sels de cette solution (Bolt et Bruggenwert, 1978).

**La sodisation ou alcalisation:** Ce phénomène est l'augmentation graduelle d'une fixation de sodium sur le complexe absorbant du sol.

Cette fixation de sodium dépend de deux facteurs: d'une part de l'apport des quantités de sodium d'ailleurs et d'autre part de la capacité du sol d'absorber le sodium.

**L'alcalinisation :** il s'agit d'une élévation du PH du sol sous l'effet de l'accumulation des bases (sel alcalins tel que  $Na_2CO_3$ , ou  $NaHCO_3$ ).

Les ions sodium notamment peuvent être fixés en abondance par le sol et ainsi le terrain devient alcalin. Dans les grandes lignes, selon son pH la réaction du sol est:  $pH < 6.5$  : acide ;  $6.5 < pH < 7.0$  : neutre ;  $pH > 7.0$  : alcaline.

## 3. Origines et cause de la salinité des sols

La contamination des terres par l'intermédiaire les sels s'effectue par de l'eau qui est le vecteur de la salinité dans la majorité des cas, exception faite, toutefois, des

particules de sel pouvant être transportées par le vent lorsque les sols salés présentent une structure poudreuse, pseudosableuse, riche en microcristaux de sel.

Selon Wyn- jones et gunston (1991), la salinisation des sols peut être due a :  
Lixiviation des sels solubles et / ou à l'évaporation qui déposent leurs sels dans les sols.

En régime, non saturé, la remonté capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol ou ils s'accumulent après évaporation de l'eau (Raju et *al.*, 1993). Cette accumulation des sels en surface dépend de la profondeur de la nappe et la texture du sol.(You et *al.*, 1999 cité en Djili et Daoud,1999).

La salinisation peut être primaire c'est-a-dire héritée des conditions naturelles, liées par exemple a la présence de couche géologique salées. Elle peut également être secondaire, c'est-a-dire liée a l'activité de l'homme et en particulier aux pratiques d'irrigation.

## **1. Salinisation primaire :**

La salinité primaire c'est la salinité naturelle causée par la chimie de la roche mère (Ghassemi et *al.*, 1995).

### **1.1 Salinisation géologique :**

Les sels solubles peuvent provenir :

- Soit de l'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques et magnésiques. En région arides et semi-arides, ces sols se concentrent sur place ; dans les dépressions fermées.
- Soit de dissolution des évaporites contenant des chlorures, des sulfates, etc., les évaporites se localisent essentiellement dans les bassins élémentaires.
- Soit de l'altération des roches volcanique (Servant, 1975).

### **1.2 Salinisation marine et lagunaire :**

L'origine des sels peut se trouver dans les dépôts lagunaires ou matériaux salés plus ou moins récents qui peuvent être eux-mêmes des roches mères des sols et fournir leurs sels aux oueds qui les transportent jusqu'aux nappes superficielles plus ou moins profondes sous les sols des vallées et basses plaines ou les déposent à leur surface (Gaucher et Burdin, 1974).

La salinisation d'origine géologique, marine ou lagunaire correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous **l'influence du climat**, de **l'altération des roches**, de **dynamique des eaux**.

D'après Szablocs (1986) et la FAO cité in Robert (1996), la superficie totale concernée par cette salinisation naturelle est proche de mille millions d'hectares (995 ha) soit près de 5 % de la surface du globe. Et 80% des terres salinisées ont une origine naturelle. (Mashali *et al.*, 2005).

## 2. Salinisation secondaire :

A une échelle planétaire, la salinisation primaire ne représente qu'une petite partie des niveaux de salinisation observés.

La « salinisation secondaire » est induite par l'homme (Ghassemi *et al.*, 1995) donc c'est la **pollution saline**. Et principalement due à trois facteurs anthropiques :

**2.1 Les pratiques agricoles**, et en particulier une irrigation associée à un mauvais système de drainage (Silva et Davies, 1999), sont souvent mises en cause (Williams, 1987), car en favorisant l'évaporation de l'eau dans les zones arides, elles engendrent la précipitation de cristaux de sel en surface. L'irrigation provoque une diminution des flux d'eau sans diminuer les flux de sels.

Dans les zones à climat aride et semi- aride, la pratique de l'irrigation représente l'une des plus importantes causes de la salinisation secondaire.

Actuellement il y a environ 350 millions d'hectares irrigués dans le monde (Szablocs, 1994). Ces chiffres sont susceptibles d'être augmentés à l'avenir.

En effet, Hamdy *et al.*, 1995 ont constaté que les terres irriguées affectées par la salinité correspondent à 27% de la surface irriguées dans le monde. Plus de la moitié des terres irriguées du monde sont salées. Cette menace selon Cheverry (1995) occasionne, chaque année des pertes de terres variables selon les auteurs de 10- 12 millions d'hectares.

En Algérie, près de 10-15 % de terres irriguées, sont concernées par ces problèmes. Bien que le problème d'alcalinisation, selon Daoud et Halitim (1994) ne se pose plus, on estime que les terres salinisées seront difficilement récupérables.

**2.2 Le deuxième grand facteur anthropique** est les rejets urbains domestiques (les eaux usées) ; La déforestation ; la désertification ; le surpâturage; la demande croissante d'eau souterraine, l'utilisation de sels de déneigement sur les routes (Williams *et al.*, 1999).

**2.3 Une troisième catégorie de facteurs anthropiques** de salinisation, les rejets salins industriels tels que les effluents des industries chimiques et pétrochimiques, de la production de gaz et des eaux d'exhaures acides (Pringle *et al.*, 1981). Une fois que ces substances ont pénétré dans l'environnement, elles restent en phase aqueuse jusqu'à ce que leurs concentrations dépassent leur produit de solubilité, alors elles se cristallisent et sédimentent sous forme de sels minéraux. (Belaid, 2010)

## **4. Effet de la salinité sur le sol et les végétaux**

### **1. Effet sur le sol :**

Une grande quantité de sels solubles peut affecter les propriétés pédologiques, notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la chute de la perméabilité hydraulique (Servant, 1970 ; Cheverry, 1972 ; Agassi *et al.*, 1981 ; Aubert, 1983 ; Halitim *et al.*, 1984 ; Daoud, 1993).

Il y a : Altération physique ;

Altération Chimique ;

Altérations physico-chimiques.

### **2. Effet sur les végétaux (effet de Stress):**

Les effets de la salinisation, d'alcalinisation et de sodisation sur la végétation en générale ont été décrits suffisamment dans plusieurs références. Généralement la végétation sur les endroits affectés est moins dense et moins développée. La culture peut avoir l'aspect d'un manque d'eau ou les feuilles peuvent être brûlées. On peut trouver des endroits sans culture ou avec uniquement quelques adventices qui sont résistantes aux sels si la salinité et/ou l'alcalinité sont assez sévères. Aussi les plantes peuvent montrer une couleur jaune. Les phénomènes peuvent avoir des influences néfastes sur les plantes dans tous leurs stades de développement. Et aussi sur leur rendement.

Les sols affectés par la salinisation posent des problèmes aux cultures pour absorber de l'eau. Les plantes absorbent l'eau par osmose. Cette absorption est conditionnée par la différence de la pression osmotique de leur sève et de la solution de sol. La plante prendra ses aliments dans la solution qui se concentre.

A un moment donné, la plante aura une pression osmotique équivalente à celle de la solution et ne pourra plus absorber de l'eau. On voit les plantes flétrir, sécher ou brûler

comme il y a un manque d'eau dans le sol. En dehors de ça un taux d'ions défavorables peut avoir un effet négatif sur la nutrition de la plante.

Dans un sol salin souvent le sodium a une position dominante et peut contrecarrer l'absorption des autres cations. A coté de cela il existe encore un effet toxique qui peut se poser quand on trouve de boron (métal  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) ou une grande concentration de chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) dans le sol. (Christoffers T, 1990).

## 2.1 Notion de stress:

Claude Bernard fut le premier à dégager une notion physiologique du stress en 1868. Selon lui, les réactions déclenchées par le stress visaient à maintenir l'équilibre de notre organisme. L'ensemble de ces réactions internes a été nommé homéostasie par le physiologiste américain Bradford (1915). L'association de ces trois notions stress-homéostasie- adaptation constitue l'approche biologique du stress et permet notamment d'expliquer l'influence du stress qui est de permettre, lorsqu'il est appliqué dans certaines limites, l'adaptation à l'environnement, et donc au maintien de la vie. (Levitt, 1980 ; Zhu, 2002 ; Vincent, 2006).

Au niveau cellulaire, un stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de l'homéostasie. Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress : les stress biotiques (dus à une agression par un autre organisme) et les stress abiotiques (qui sont dus principalement à des facteurs environnementaux).

## 2.2 Les facteurs de stress

**Les facteurs de stress Biotiques (agents vivants)** dus à une agression par un autre organisme, incluent notamment les agressions par les insectes, les champignons, les mauvaises herbes, les bactéries, et les virus ; lesquelles peuvent engendrer d'importantes pertes de rendement agricole si des agents phytosanitaires ne sont pas appliqués.

**les facteurs de stress abiotique** (facteurs non vivants) qui sont dus principalement à des facteurs environnementaux (Levitt, 1980, Zhu, 2002 ; Vincent, 2006). Les températures extrêmes (chaleur et froid), la pluviométrie (excès d'eau ou sécheresse), l'humidité relative, les vents (vents chauds et secs favorisant une transpiration foliaire intense, la pluie poussée par des vents violents engendrant des blessures mécaniques), la

concentration des polluants atmosphériques et l'ensoleillement et la salinité du sol) (Lacroix,2004 ).

## **2.3 Evaluation de la tolérance ou de la résistance au stress :**

Du point de vue agronomique, la tolérance au stress va se mesurer par l'impact du stress sur le rendement (graines, parties végétatives, dépendamment des cultures) et/ou la qualité des produits.

De ce point de vue écologique, la tolérance ou la résistance au stress va se mesurer par l'impact du stress sur la fitness, autrement dit sur la capacité des individus à se multiplier et/ou à avoir une descendance (penser à l'importance de la reproduction végétative chez les végétaux).

## **5. Le stress Salin**

Le terme stress salin s'applique essentiellement à un excès d'ions, mais pas exclusivement aux ions Na et Ca dans la rhizosphère et dans l'eau (Parida et Das, 2005).

Le stress salin déclenche à la fois un stress osmotique et un stress ionique (Rains, 1972 ; Flowers et *al.*, 2004).

### **1. Effet de la salinité sur les plantes:**

#### **1.1 L'effet de la salinité sur la croissance**

La salinité réduit la capacité des plantes à absorber l'eau, ce qui provoque rapidement des réductions de taux de croissance (Munns, 2002). La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente (Wang et Nil, 2000). Si des quantités excessives de sel entrent dans la plante, le sel finira par atteindre des niveaux toxiques dans les feuilles transparent plus âgés, ce qui provoque la sénescence prématurée, et de réduire la zone de feuille de photosynthèse de la plante à un niveau qui ne peut pas soutenir la croissance (Munns, 2002).

Dans les racines, aussi, il ya des réductions rapides et transitoires des taux de croissance après des hausses soudaines de NaCl (Rodríguez et *al.*, 1997)

Mais la croissance des racines, contrairement à la croissance des feuilles, récupère remarquablement bien de l'ajout de sel ou tout autre agent pénétrant (Hsiao et Xu, 2000).

## 1.2 L'effet de la salinité sur l'eau dans la plante

Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence (Romeroaranda et *al.*, 2001 d'après Parida et Das, 2005).

Dans les conditions de concentrations élevées de salinité accrue, le potentiel hydrique de la feuille et la vitesse d'évaporation diminuent significativement chez l'halophyte alors qu'il n'y a pas de changement dans le contenu relatif en eau (Lu et *al.*, 2002 d'après Parida et Das, 2005 ).

## 1.3 L'effet de la salinité sur les pigments photosynthétiques et les protéines

Une baisse de la capacité de photosynthèse se produit souvent dans de nombreuses plantes lorsqu'il est soumis à un stress de salinité (Munns et Termaat, 1986; Brugnoli et Björkman, 1992). Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin. Les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber pendant une période prolongée de stress salin (Agastian et *al.*, 2000). Le contenu des protéines solubles des feuilles diminue en réponse à la salinité (Parida et *al.*, 2002).

## 1.4 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 d'après 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) et la canne à sucre (Nimbalkar et Joshi, 1975

d'après Haouala *et al.*, 2007). Cette absorption peut même s'arrêter complètement chez le haricot (Hamza, 1977 d'après Haouala *et al.*, 2007) et le laurier rose (Hajji, 1980 d'après Haouala *et al.*, 2007) cultivés en présence de chlorure de sodium (NaCl) à 12 g.l<sup>-1</sup>. (Haouala *et al.*, 2007).

## 2. Les stratégies d'adaptation des plantes à l'excès de sel :

Il existe deux stratégies de résistance:

### 2.1 La résistance par régulation/exclusion souvent réduit au terme de résistance.

L'organisme inhibe ou réduit la pénétration du stress (*e.g.*, le sel) dans ses tissus.

Pour s'adapter au stress salin, la plante peut éviter les dommages par la réduction de la croissance. La plante peut ensuite rétablir l'équilibre **homéostatique** dans le nouvel environnement stressant ; l'homéostasie se définit comme la capacité d'autorégulation d'un organisme pour maintenir un état d'équilibre dynamique constant entre les conditions extérieures et les différentes composantes de son milieu interne (Niu *et al.*, 1995). Suite à cette adaptation, la croissance peut reprendre et est possiblement réduite relativement aux conditions antérieures moins stressantes (Yeo, 1983 ; Zhu, 2001).

### 2.2 La résistance par tolérance/inclusion souvent réduit au terme de tolérance.

L'organisme absorbe l'agent stressant(le sel) et le séquestrer au niveau des feuilles.

Cette stratégie regroupe les espèces qui accumulent, effectivement, le sel. Cette tolérance est possible grâce à l'aptitude du protoplasme à supporter les effets cytotoxiques et osmotiques ainsi que les déséquilibres ioniques.

La tolérance au sel des structures protoplasmiques (protéines, biomembranes...) est réalisée au moyen de protéines de stress (HSP...) et d'osmoprotectants cytoplasmiques (solutés compatibles) tels que la proline, les bétaines, certains sucres solubles et polyols (mannitol sorbitol, pinitol...).

Récemment, Berthomieu *et al.*, (2003) ont montré une troisième stratégie à l'intermédiaire entre l'exclusion et l'inclusion : la **recirculation**. Le Na<sup>+</sup> est absorbé et parvient jusqu'aux parties aériennes, mais il est aussitôt "re-pompé" et reconduit par les vaisseaux du phloème vers les racines, qui peuvent excréter les ions à l'extérieur (une ré-excrétion dans le sol).

### 3. Mécanismes de résistance à la salinité chez les végétaux

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et à produire dans des conditions de stress salin. Il existe, en la matière, une large gamme de mécanismes qui ne sont pas exclusifs l'un de l'autre, mais qui peuvent se compléter.

En général ; Chez les plantes sensibles à NaCl, Na s'accumule dans les racines mais il est exclu des feuilles (Slama, 1986). Ces plantes sont dites « **excluser** » vis-a-vis de Na. Certaines glycophytes, comme le cotonnier ou l'orge, transportent et accumulent de grandes quantités de Na<sup>+</sup> dans leurs feuilles.

Les espèces incapables de compartimenter Na<sup>+</sup> dans leurs feuilles sont nettement plus sensibles à la salinité. En effet, ces espèces semblent peu efficaces pour abaisser la concentration cytoplasmique de Na<sup>+</sup>, ce qui est peut être l'une des causes profondes de leur sensibilité au niveau cellulaire, mais l'incapacité de débarrasser le cytoplasme de Na<sup>+</sup> a pour conséquence que cet ion est facilement transporté dans le phloème de ces plantes (Zid et Grignon, 1986).

À l'inverse, les plantes tolérant NaCl sont dites « **incluser** » car elles ont en général des feuilles plus chargées en Na que les racines lorsqu'elles sont cultivées en présence de sel (Slama, 1986).

#### 3.1 Homéostasie cellulaire :

L'homéostasie ionique au niveau des cellules est atteinte sous stress salin par les stratégies suivantes:

- **exclusion** des ions Na<sup>+</sup> des cellules par les canaux ioniques: anti-port Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>, ou bien par la limitation d'entrée des ions Na<sup>+</sup>,
- **la sécrétion de Na<sup>+</sup> ou élimination** : certains espèces laissent entrer le sel puis l'évacue sous différentes formes et de différentes manières : sous forme de substances volatiles, exudation par des glandes spécialisées, excrétion à la surface des racines ou par la chute des organes chargés de sels.
- **Redistribution du sel** : Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> peuvent, rapidement, migrer dans le phloème de telle manière à ce que ces ions soient redistribués à travers toute la plante et éviter leur forte accumulation au niveau des feuilles.

- **Dilution par succulence** : l'eau s'accumule dans les parenchymes très lacuneux et dilue le sel (*salicornia*).

### 3.2 Séquestration du sodium dans des vacuoles :

Ce mécanisme est considéré comme intermédiaire entre les deux stratégies (régulation et tolérance). Est une stratégie très importante chez les plantes permettant de maintenir ces ions à une faible concentration dans le cytoplasme et conserver un faible potentiel osmotique cellulaire. L'exclusion de l'excès de sodium du cytoplasme nécessite la synthèse d'osmolytes compatibles avec la réduction du potentiel osmotique; ce dernier est essentiel pour pouvoir prélever de l'eau dans des conditions de stress salin. Ce processus est coûteux en énergie pour la plante.

### 3.3 Prélèvement de $K^+$ :

Dans les conditions optimales, les plantes maintiennent un haut ratio cytosolique  $K^+/Na^+$ .

Le stress salin entraîne la diminution de ce ratio, du fait que les ions  $Na^+$  sont en concurrence avec les ions  $K^+$ , ce qui est défavorable pour les processus biochimiques cellulaires. De même, une forte concentration de potassium augmente le potentiel osmotique qui entraîne une entrée d'eau à partir du milieu extérieur (Claussen *et al.*, 1997). Le prélèvement de  $K^+$  est essentiel pour la turgescence cellulaire et le déroulement des processus biochimiques sous stress salin.

### 3.4 Biosynthèse d'osmoprotectants

Les gènes impliqués dans la synthèse d'osmoprotectants sont surexprimés sous stress salin (Zhu, 2002). Les osmoprotectants compatibles pour différents solutés sous stress salin protègent les plantes par ajustement osmotique ce qui maintient la turgescence cellulaire, et par stabilisation de la structure (quaternaire) des protéines. Les osmoprotectants sont de mannitol (Shen *et al.*, 1997), glycine bêtaïne (Prasad *et al.*, 2000), et proline (Zhu *et al.*, 1998)...etc.

### 3.5 Régulation de croissance

Maintenir une croissance racinaire constitue un caractère adaptatif dans un environnement de faible disponibilité en eau tel que le milieu salin. L'allongement racinaire peut être dû à une augmentation d'activité des enzymes impliquées dans la

construction du cytosquelette ; par exemple la xyloglucan endotransglycosylase (Wu et *al.*, 1994). L'autre cause peut être l'accumulation de proline (Ober et Sharp, 1994).

Ces deux actions sont régulées par l'acide abscissique (ABA), qui est induit par le stress salin (Jia et *al.*, 2002). Ainsi chez le maïs, l'élongation racinaire est inhibée par la présence d'un inhibiteur de biosynthèse d'ABA. Mais elle peut être restaurée par un traitement des racines avec un inhibiteur de synthèse d'éthylène. Ces données suggèrent que l'élongation racinaire par l'intermédiaire de l'ABA doit être causée par une inhibition de biosynthèse d'éthylène (Spollen et *al.*, 2000).

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

### 3.6 Accumulation de la proline

Les plantes soumises aux contraintes engendrées par la salinité réagissent à cette agression par une modification de leur teneur en certains composés organiques. Ces réactions d'adaptation sont destinées à rétablir l'équilibre hydrique dans la plante. Ces composés sont alors produits en quantité inhabituelle en s'accumulant dans les cellules (Hubac et Vieira, 1980).

Les composés qui s'accumulent le plus sont généralement la bêtaïne, la proline et la glycine bêtaïne, bien que d'autres molécules puissent s'accumuler aux concentrations élevées dans certaines espèces (Gorham et *al.*, 1986 ; Belkhodja et Ait-Saadi, 1992 ; Hasegawa et *al.*, 2000 ; Belkhodja et Bidai, 2003).

Il a été démontré que certains composés notamment les sucres solubles et la proline s'accumulent dans les tissus des plantes cultivées sous stress salin (Larher et *al.*, 1991 ; Irigoyen et *al.*, 1992 ). Cependant, les éléments les plus souvent associés à la tolérance des plantes à la salinité sont des molécules azotées comme la glycine bêtaïne, les polyamines (Le Dily et *al.*, 1991) ou des acides aminés telle la proline (El Mekkaoui, 1990).

### III. Présentation de l'espèce

#### 1. Famille des Brassicacées

Parmi toutes les plantes utilisées par l'homme, les brassicacées constituent une importante famille de plantes dicotylédones représentées dans le monde entier, mais principalement dans les régions tempérées de l'hémisphère nord (Humbert, 1982).

Avec ses quelques 340 genres et 3 700 espèces, les Brassicacées appelées autrefois « crucifères » appartiennent aux familles les plus importantes chez les Angiospermes (Stevens, 2001 ; Hall *et al.*, 2002).

L'Europe abrite 700 espèces réparties en 110 genres (Tutin, 1993). Grâce à leur morphologie homogène, plus particulièrement la forme de leurs fleurs et la structure de leurs fruits, les Brassicacées sont facilement reconnaissables (4 pétales et 4 sépales disposés en croix, fruits en forme de siliques ou de silicules). Mais cette ressemblance entre de nombreux genres, a été la cause d'une détermination difficile sur le terrain. (Kozłowski, 2009)

L'origine de la famille des Brassicacées se situe très probablement dans l'Ancien Monde (Asie/Europe). (Schranz et Mitchell-Olds, 2006) ; Aujourd'hui, la famille des Brassicacées a une répartition cosmopolite. Elle est très rare ou manque complètement dans les forêts tropicales primaires. Ses centres de répartition et de diversité se trouvent dans le Bassin méditerranéen, dans le sud-ouest asiatique et en Asie centrale. (Kozłowski, 2009)

Les brassicaceae peuplent la presque totalité des habitats et des milieux de vie possibles : sables et rochers maritimes, bords de ruisseaux, talus calcaires, pelouses humides ou sèches, cultures et jardins, bords de chemins, cailloutis et prairies de montagne, ... . les moutardes, choux, radis et quelques plantes ornementales (aubrieties, iberis, girofrees) comptent parmi les crucifères.

Le nombre et la disposition des sépales (04) et les pétales (04) sont tellement constants et remarquables que l'on a donné le nom de crucifères - ou porte-croix - à la famille, au lieu de l'appeler du nom d'un genre important (wilson, 2011)

De nombreuses crucifères sont cultivées dans les jardins et les champs comme plantes ornementales (monnaie-du-pape) ou alimentaires ; antiscorbutiques, stimulantes et dépuratives, on les utilise en salade (cresson, radis...), condiment (moutarde...) ou légume (chou, navet...). On extrait de l'huile des graines de colza et de caméline.

Certaines espèces servent de fourrage. D'autres enfin ont des propriétés tinctoriales, autrefois réputées, comme le pastel ou Isatis (teinture bleue) (Humbert, 1982).

Cette famille comprend des espèces de la flore sauvage spontanée et des espèces cultivées, et les principaux genres cultivés ce sont :

1. *Arabidopsis* : ( l'*Arabidopsis thaliana* ou Arabette des Dames),
2. *Armoracia* : ( genre du Raifort),
3. *Barbarea* : ( le cresson de terre (*Barbarea verna*)),
4. *Brassica* : ( les choux, la moutarde, les navets, le rutabaga),
5. *Eruca* : ( la roquette),
6. *Erysimum* : ( la giroflée),
7. *Nasturtium* : ( le cresson de fontaine),
8. *Raphanus* : (le Radis).

## 2. Le Radis :

Les radis sont parmi les légumes-racines ; qui sont plus faciles à cultiver. Plante à racine pivotante ronde (bulbeuse), oviforme ou allongée rose, rouge, blanche, ou noire.

Plante potagère annuelle ou bisannuelle que l'on consomme cru. Sa saveur piquante provient de la présence dans la plante de substance appelée **glucosinolate**.

Le terme « radis » est apparu dans la langue au XVIe siècle. Il vient du latin « radix », qui signifie « racine ».



Figure n°02 : *Raphanus sativus* L.

## 3. Origine du radis :

Bien que son origine reste quelque peu obscure, le radis vient du Proche-Orient ou du sud-ouest de l'Asie. Il était déjà connu en Égypte avant la construction des pyramides,

c'est-à-dire il y a plus de 5 000 ans. Il est cependant possible qu'on l'ait cultivé surtout pour ses graines, qui produisent une huile comestible de qualité.

Les Grecs et les Romains l'appréciaient et en cultivaient plusieurs variétés. Au Moyen Âge et à la Renaissance, c'était le légume racine le plus commun dans le Nord de l'Europe et en Angleterre, d'autant plus qu'on lui prêtait de nombreuses propriétés médicinales. Toutefois, il faudra attendre le XVIII<sup>e</sup> siècle avant que n'apparaisse le petit radis rond et rouge que l'on connaît aujourd'hui. Les radis que l'on mangeait couramment étaient généralement blancs ou noirs, beaucoup plus gros et de forme allongée.

Le radis a été introduit en Amérique dès les premières années de la colonisation et n'a jamais perdu sa popularité. On en consomme cependant beaucoup moins que nos ancêtres et le choix de variétés est aujourd'hui relativement restreint. En effet, au XIX<sup>e</sup> siècle, dans les potagers du Canada et des États-Unis, on cultivait le radis noir, le daikon et divers types de radis chinois. On faisait aussi pousser une variété dite « radis de Madras » ou « radis-serpent », qui a pour particularité de monter rapidement en graines et de former des gousses comestibles. (Grubben et Denton, 2004).

#### **4. Description :**

Plante herbacée annuelle érigée jusqu'à 100 cm de haut ; la partie supérieure de la racine pivotante et l'hypocotyle renflées, tubérisées, globuleuses, cylindriques ou fuselées, très variables en taille (jusqu'à 100 cm de long), en forme et en poids (de quelques g à 2,5(-20) kg), rouges à blanches, parfois grises à noires, chair blanche, parfois rouge. Feuilles alternes, glabres à légèrement hispides, feuilles inférieures en rosette radicale ; stipules absentes ; pétiole de 3-5,5 cm de long ; limbe oblong, oblong-ovale à lyré-pinnatifide, 3-5-jugule avec un lobe terminal ovale ou arrondi, de 5-30 cm de long ; feuilles supérieures bien plus petites, munies d'un pétiole court, lancéolées-spatulées, plus ou moins dentées.

Inflorescence : grappe terminale, érigée, longue, à nombreuses fleurs. Fleurs bisexuées, 4-mères, d'environ 1,5 cm de diamètre, odorantes, blanches à lilas ; pédicelle jusqu'à 2,5 cm de long ; sépales libres, oblongs-linéaires, de 6-10 mm de long ; pétales libres, spatulés, munis d'un onglet, de 1-2 cm de long ; étamines 6, 4 longues et 2 courtes ; ovaire supère, style de 3-4 mm de long.

Fruit cylindrique, jusqu'à 10(-60) cm × 1,5 cm, consistant en 2(-plusieurs) articles superposés, l'article inférieur très court et dépourvu de graines, le supérieur plus grand, cylindrique, spongieux et divisé en 2-12 compartiments contenant chacun une graine, indéhiscents, avec un long bec dépourvu de graines. Graines ovoïdes-globuleuses, d'environ 3 mm de diamètre, jaunâtres.



**Figure n°03** : descriptive d'une fleur et un Fruit cylindrique, (source : [www.telabotanica.org](http://www.telabotanica.org))

Selon la couleur il existe trois types de radis :

- le Daikon ou japonais, long, conique et blanc, qui vient d'Asie
- le noir, long et trapu, originaire d'Europe de l'Est, récolté entre septembre et mars uniquement
- le petit, appelé aussi "radis de tous les mois", dont la couleur diffère selon la *variété*.

## 5. Taxonomie de Radis :

Règne	Végétal
Sous-règne	Trachéophytes
Embranchement	Spermaphytes
Sous Embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous-classe	Dialypétales
Ordre	Brassicales
Famille	<i>Brassicacees</i>
Genre	<i>Raphanus</i>
Espèce	<i>sativus</i>

- **Radis national** : (*Raphanus sativus var. National*)

Le radis National est un radis rond d'un diamètre de 2,5 cm. Rouge carmin (2/3 supérieur) à bout blanc (1/3 inférieur). Il est très savoureux. C'est une variété peu sensible au creusement. Variété à croissance rapide, qui de plus, possède une bonne résistance aux maladies et parasites.

## **6. Ecologie :**

Le radis est un légume de la région tempérée, qui vient le mieux sous les tropiques à haute latitude pendant la saison froide et sur les hautes terres au-dessus de 1000m.

Le radis chinois ou le mooli tolère de plus hautes températures que les types japonais ou européens et produit bien à basse altitude en Afrique de l'Est.

En conditions de jours courts, la racine est de bonne conformation et le collet petit. En jours longs (sup 15 h) les racines peuvent être difformes, le collet s'allonge et une montaison prématurée peut survenir.

Le Radis demande normalement une température basse et des jours longs pour monter à graines, mais la plupart des types de radis fleurissent, bien qu'assez médiocrement, après avoir atteint la taille comestible.

Les types tempérés nécessitent au moins 20 jours en dessous de 15°C et une longueur du jour supérieure à 16 heures pour une bonne mise à graines, alors que pour les cultivars de radis chinois et de mooli, les besoins pour la montaison sont satisfaits à des températures plus élevées et des durées de jour courtes, les cultivars à chair blanche fleurissent plus facilement en jours courts et altitudes faibles que les cultivars à chair rouge, qui demandent des jours longs et des altitudes au-dessus de 1000m. Le radis demande des sols profonds, légers, bien drainés et avec pH de 6,0-6,5. (Grubben et Denton, 2004).

### **6.1 Variétés les plus cultivées en Algérie**

Les variétés cultivées en Algérie sont : Cherry bell, National, Saxa, à forcer, Rond écarlate, Hâtif, Gaudry, Rond rose à bout blanc D'Orléans, Salvatore etc...Les cultures sont localisées sur le Littoral, sublittoral et hauts plateaux (ITCMI, 2010).

## **7. Importance du Radis :**

D'habitude, le Radis est utilisé pour l'alimentation humaine, et maintenant il est proposé pour l'alimentation des animaux telle que les vaches laitières. Il est aussi utilisé par les industriels pour ces compositions chimiques et surtout pour ses vertus thérapeutiques très intéressantes.

## **7.1 Importance économique :**

La production mondiale de racine de radis est estimée à 07 millions de tonne par an, soit environ 02% de la production mondiale de légumes.

Au Japon, en Corée et à Taïwan, mais aussi au Yémen, le radis compte parmi les légumes importants. Pour le Japon, il représente à lui seul près du tiers de toute la production de légumes.

En Chine, certaines variétés de radis sont également cultivées pour leurs graines, dont on extrait l'huile, tandis qu'au Moyen-Orient, d'autres le sont exclusivement pour leurs fanes que l'on prépare comme des épinards.

Pour l'Afrique il n'y a pas de données de production connues, mais son importance y est secondaire en comparaison de l'Asie ou de l'Europe. (Grubben et Denton, 2004).

En Algérie, le radis n'est pas très répandu puisque sa culture est pratiquée sur de petites superficies. Et actuellement l'importance de Radis en Algérie est relativement faible. (ITCMI, 2010)

De nos jours, c'est une culture maraîchère répandue dans toutes les régions du monde. surtout les radis fourragers pour donner à pâturer au bétail. (Skiredj, 2010).

## **Intérêts industrielles :**

Il est utilisé par les industriels pour ces compositions chimiques et surtout pour ses vertus thérapeutiques très intéressantes. La fabrication de l'encre de chine ; l'extraction des huiles essentielles ; ...etc

## **Intérêts médicinales :**

Le radis est léger et peu énergétique. Sa haute densité en minéraux et oligo-éléments aide à reminéraliser l'organisme. Riche en fibres, le radis facilite le transit intestinal.

Comme les autres légumes crucifères, le radis contribue à la prévention du cancer, notamment de l'estomac et du colon (CRIOC), et aussi utilisé comme anti-diabétiques. (Bruneton, 1993). A cause des glucosinolates : qui sont des composés hétérosidiques anioniques responsables des odeurs fortes. Appliqués comme cataplasme sur les articulations douloureuses, ils augmentent le flux sanguin dans la zone irritée, favorisant ainsi l'évacuation des toxines. (Bruneton, 1993).

## Intérêts nutritionnels et alimentaires:

Selon le centre de recherche des organisatrices de consommateurs CRIOC le radis est riche en minéraux et oligo-éléments, particulièrement en potassium. Il est une bonne source de vitamine C. Sa teneur en fibres est abondante. Et aussi il est pauvre en calories (15 kcal par 100g).

Tableau n°07 : les minéraux et oligo-éléments dans le Radis. (CRIOC)

Constituants	Quantité pour 100g
Vitamine C	23 mg
Vitamine B3	0,30 mg
Potassium	243 mg
Soufre	38 mg
Calcium	20 mg
Phosphore	18 mg
Magnésium	7 mg
Fer	0,8 mg

## 7.2 Importance écologiques et environnementaux :

### Intérêts écologiques :

Actuellement, avec les variétés ayant une capacité de dépollution le sol on les utilise comme des plantes phytoremédiatrices.

Le radis est une plante hyperaccumulatrice phytoremédiatrice utilisée pour absorber des concentrations élevées de métaux par leurs racines et les concentrer dans leurs feuilles.

Cette biomasse est récoltée pour l'incinérer et récupérer les métaux dans les cendres afin de les réutiliser en métallurgie. (Bouhadjera, 2005) C'est un outil de réhabilitation des sols.

### Intérêts écotoxicologiques :

L'étude écotoxicologiques de cette plante pourrait constituer un outil intéressant pour estimer les risques de transfert potentiel des métaux lourds au sein de l'écosystème par leurs capacités de détoxification, d'immobilisation ou d'absorption des métaux lourds. (Ait hamadouche *et al.*, 2007).

En général, le Radis utilisé pour préparer et réaliser les essais de toxicité d'un sol. (E.P.S, 2005).

Biodésinfection du sol (engrais vert) pratique à but principale « d'assainissement du sol » par l'utilisation des propriétés « allélopatiques » de plantes contre les bioagresseurs (virus, bactéries, champignon, nématodes...etc).

S'appel aussi La biofumigation ; est une méthode biologique visant à réduire le nombre de pathogènes, de ravageurs et de semences de mauvaises herbes dans le sol. Elle est basée sur l'utilisation de plantes riches en glucosinolates, principalement des crucifères. Lors de la décomposition de ces plantes, les glucosinolates sont transformés en isothio- et thiocyanates, molécules volatiles et toxiques pour certains organismes du sol. (Michel et *al.*, 2007).

# Matériel et Méthodes

## I. Matériel et méthodes :

### 1. Dispositif expérimental

#### 1.1 Caractéristiques de la bentonite

La bentonite utilisée provient du gisement de M'Zila, district de Mostaganem, au Nord-Ouest de l'Algérie. Les caractéristiques minéralogiques (tableau 05) et physico-chimiques (tableau 04) font apparaître que cette bentonite est essentiellement composée de montmorillonite calcique. C'est une argile de couleur gris clair, légèrement bleuâtre à l'état sec et verdâtre à l'état humide. (ENOF, 1997).



Figure n° 04 : la poudre de Bentonite.

Tableau n° 04: Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite de Mostaganem (ENOF, 1997).

Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	Poids spécifique (g/cm <sup>3</sup> )	PH	Capacité D'échange (meq/100g)	Cations échangeables			
				Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na/Ca
65.00	2.71	9.00	75.80	43.60	25.20	4.80	0.52

Tableau n° 05: Caractéristiques minéralogiques de la bentonite (ENOF, 1997).

IDENTIFICATION DES MINERAUX			
Montmorillonite	Quartz	Feldspats	Biotite
45 à 60 %	15 à 20 %	03 à 05 %	08 à 10 %

## 1.2 Choix de l'espèce végétale :

Le radis (*Raphanus sativus*), de la famille Brassicassé, a été choisi en raison de son utilisation au laboratoire comme plante modèle pour les études physiologiques de différents stress.

De plus, l'utilisation de *Raphanus sativus* présente de nombreux intérêts : croissance rapide, biomasse importante, sensibilité à la salinité.



Figure n°05 : les graines de Radis.

## 1.3 Condition de culture:

L'essai a été conduit dans des pots, sous serre semi contrôlée, au département de Biologie de l'Université de Es-senia à Oran. (Laboratoire de la physiologie végétale)

Les graines de *Raphanus sativus* sont lavées avec de l'eau de javel à 1% pendant 5 minutes pour éliminer toute contamination fongique. Après plusieurs rinçages à l'eau distillée les graines sont mises à germer dans des pots contenant du terreau à une profondeur de 1 cm sous des conditions normale à raison de 1à graines par pot.



**Figure n°06:** la serre semi contrôlée, au département de Biologie de l'Université d'es-senia à Oran.

#### 1.4 Substrat :

Les pots utilisés sont en plastique, le fond de chaque pot a été garni d'une couche de gravier pour assurer un bon drainage. Les pots remplis chacun de 600g de substrat mélangé.

Le substrat utilisé est composé d'un mélange de sable, de matière organique (tourbe) avec les proportions (2 volumes de sable / 1 volume de tourbe).

Le sable ayant subi:

- Un tamisage approprié afin de supprimer les différents débris et déchets dans le but d'obtenir un sable fin,
- Un traitement à l'esprit de sel pour éliminer les carbonates, les chlorures, etc....,
- Des lavages successifs à l'eau ordinaire,
- Des rinçages répétés à l'eau distillée sont appliqués afin d'essayer d'éliminer toute trace de chlore,
- Et enfin, un séchage à l'air libre. Un test au nitrate d'argent a été réalisé pour vérifier la pureté du substrat concluant la limpidité de la solution.

La quantité de bentonite ajoutée au sol reconstitué est de 00%, 07% et 10% ; comme le tableau :

**Tableau n° 08:** poids de chaque dose de bentonite.

<b>Dose de bentonite</b>	00 %	07 %	10 %
<b>Poids sec de bentonite (g)</b>	00 g	63g	90g

Cette bentonite est soigneusement mélangée au substrat afin de l'homogénéiser.

On procède à une irrigation à 80% de la capacité de rétention du substrat soit 80 ml par pot, après avoir déterminé la capacité de rétention du substrat du sol. L'arrosage est effectué 03 fois par semaine, 02 fois à l'eau déminéralisée et une fois à la solution nutritive de type fertil.

Les pots témoins sont irrigués seulement à l'eau déminéralisée pendant la période d'application du stress. Par contre, les pots stressés sont irrigués avec une solution saline de 00meq, 50meq et 100meq

**Tableau n° 09:** composition de la solution saline.

<b>Dose</b>	00 meq/l	50meq/l	100meq/l
<b>NaCl (g/l)</b>	00	02.92	05.84

Après 21 jours de germination des graines, l'application de stress est effectuée 02 fois pendant 02 semaines, puis on fait le prélèvement des échantillons pour les analyses.

### **1.5 Prélèvement des échantillons :**

Les échantillons destinés aux différentes analyses du bilan hydrique et des ions minéraux, sont prélevés au stade 5-6 feuilles.

Après avoir déterré les plantes, une rinçage fait au partie souterraines à l'eau distillé puis séchées rapidement à l'aide du papier Joseph.

Chaque plante est pesé à l'aide d'une balance analytique de précision puis enveloppé au papier aluminium numéroté et séché à l'étuve à 80°c pendant 48h ensuite les échantillons secs sont pesés, puis broyés et ensuite déposés dans un flacon fermé à l'aide d'un bouchon plasma et placés dans un congélateur en attendant l'extraction et les dosages.

### 1.6 Plan de l'expérimentation :

L'expérimentation comporte 09 traitements avec 05 répliquas pour chaque traitement :

- 15 pots (05 pots de 0% bentonite, 05 pots de 07% bentonite et 05 pots de 10% bentonite) arrosés à l'eau distillée (Lot témoin)
- 15 pots (05 pots de 0% bentonite, 05 pots de 07% bentonite et 05 pots de 10% bentonite) arrosés à l'eau distillée contenant de NaCl à la concentration de 50 meq/l
- 15 pots (05 pots de 0% bentonite, 05 pots de 07% bentonite et 05 pots de 10% bentonite) arrosés à l'eau distillée contenant de NaCl à la concentration de 100 meq /l

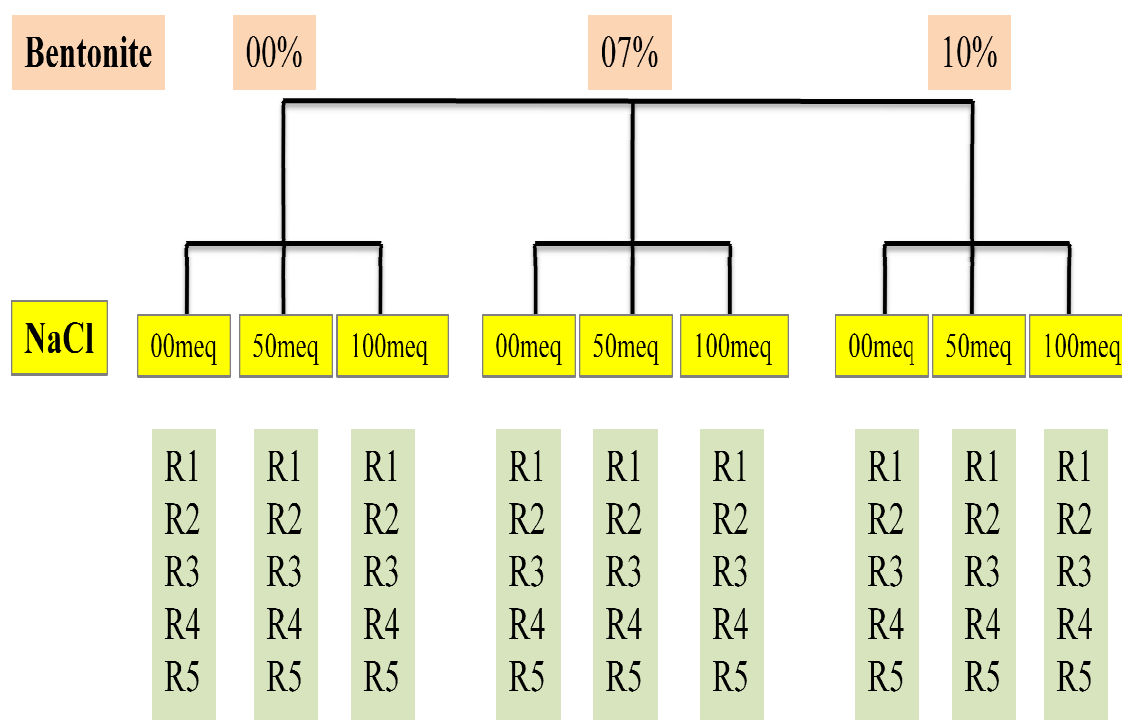


Figure n°07 : Schéma du dispositif expérimental.



**Figure n°08** : photos du dispositif expérimental 01 semaine après semis.



**Figure n°09** : photos du dispositif expérimental 02 semaine après semis.

La capacité au champ du pot, nous avons pesé des pots contenant de substrat sec utilisé dans l'expérimentation, P1 (P1 = poids de sol sec). En suite nous avons irrigué ces derniers jusqu'à saturation, tout en couvrant les pots à l'aide d'un plastique noir pour éviter l'évaporation de l'eau par la surface. Après 24h de repos, les pots sont pesés de nouveau P2 (P2 = poids à saturation). La différence entre P2 et P1 est la quantité d'eau retenue par le sol et qui représente la capacité au champ des pots. On estime la capacité au champ (C.C) par l'équation suivante :

$$C.C = (P2 - P1) / P1.100$$

## **II. Les paramètres écophysologiques étudiés :**

### **1. Les paramètres hydriques :**

#### **1.1 La teneur relative en eau (TRE ou RWC) :**

Défini comme la teneur en eau des tissus foliaires sous forme de pourcentage celle du tissu entièrement turgescent ;

L'état hydrique des plantes est évalué par des mesures de teneur relative en eau (TRE) ou « relative water content » (RWC) est une ancienne méthode, qui reste très utilisée actuellement, afin d'estimer le statut de l'eau de la plante, et en particulier, le déficit hydrique.

Il mesurée sur la dernière feuille bien développée selon la méthode de Barrs et Weatherley (1968).

Sa mesure s'effectue sur des disques foliaires. Dans un premier temps, le poids de matière végétale fraîche de ces échantillons est mesuré par pesée (PF).

Ensuite, ces disques sont mis à flotter dans de l'eau durant 4 à 24 h. Au bout de ce temps, ces disques sont pesés et le poids représente le poids à la turgescence (PT).

Le poids de matière végétale sèche de ces échantillons (PS) est obtenu après passage à l'étuve (24 h à 80° C).

RWC sera, alors, ainsi calculé :

$$\text{RWC (\%)} = ((\text{PF} - \text{PS}) / (\text{PT} - \text{PS})) \times 100.$$

Les valeurs de RWC pour une feuille transpirante sont comprises entre 60 % et 98 %.

### **2. Les paramètres biochimiques :**

#### **2.1 Extraction et dosage des pigments chlorophylliens :**

La technique de l'extraction de la chlorophylle a, b et totale (t), utilisée est celle décrite par la méthode de Lichtenthaler (1987) et Shabala et *al.*, (1998) et au niveau de l'avant dernière feuille.

Dans des tubes à essais, on ajoute à 100 mg (pour chaque essai) d'échantillon frais, coupé en petits fragments dans 10 ml d'acétone à 95%. L'ensemble est conservé à l'obscurité et à 4°c pendant 48 heures. La DO de la totalité des surnageants obtenus est mesuré à 645 nm et à 663 nm

La détermination de la teneur en chlorophylles a, b et de la chlorophylle totale est réalisée selon les formules suivantes :

$$\text{Chl a } (\mu\text{g/g MF}) = 12,7 \times \text{DO (663)} - 2,59 \times \text{DO(645)} \times V / (1000 \times W) .$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g/g MF}) = 22,9 \times \text{DO(645)} - 4,68 \times \text{DO(663)} \times V / (1000 \times W).$$

$$\text{Chl (a+b)} (\mu\text{g/g MF}) = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

V : volume solution extraite et W le poids de matière fraîche de l'échantillon



Figure n° 10 : spectrophotomètre UV marque optizen 2120UV.

## 2.2 Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par Troll et Lindesly (1955) simplifiée et mise au point par LAHRER et MAGNE cité par LEPORTE (1992).

Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

On met 100 mg de matière fraîche végétale (de l'avant dernière feuille) dans des tubes à essai et on ajoute 2 ml de l'éthanol à 95 %. Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à l'ébullition au bain-marie à 95 °C pendant 10 min.

Après refroidissement, 1 ml de la solution a été prélevé de chaque tube et mis dans de nouveaux tubes auxquels, nous avons ajouté 1 ml d'un mélange contenant;

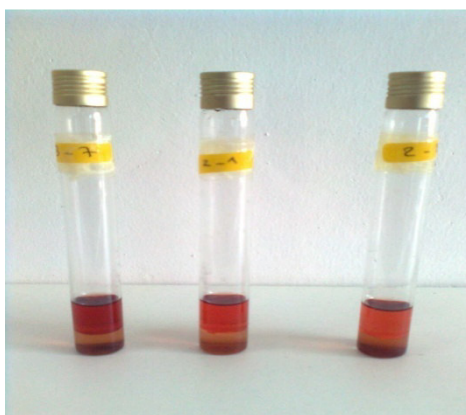
- 20 ml d'eau distillée,
- 30 ml d'acide acétique glacial,
- 0.5 g ninhydrine.

Les tubes sont ensuite mis à ébullition dans un bain Marie durant 20 min.

Après refroidissement des solutions (l'eau glacée est utilisée pour stopper la réaction), ensuite 3 ml de toluène sont ajoutés dans chaque tube. Après agitation au vortex deux phases apparaissent. Après la phase supérieure est prélevée et à la qu'elle est ajoutée une pincée de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (sulfate de sodium) dans chaque tube, à la fin, le tout est laissé au repos pendant 48h.

La lecture de la densité optique (DO) des échantillons est effectuée sur un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm.

Les valeurs obtenues sont ensuite reportées sur la courbe d'étalonnage ; et la gamme étalon se fait par un mélange (acide acétique, eau distillée, et ninhydrine).



**Figure n° 11** : Formation des deux phases du matériel végétal.

### 3. Les paramètres minéraux :

#### Dosage de quelques cations :

Les analyses de quelques éléments minéraux ont été effectuées sur les feuilles, les tiges et les racines et ont porté sur la détermination des teneurs en **sodium**, en **calcium** et en **potassium**.

Le choix du dosage de ces cations est basé sur le fait que :

- Les ions,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  jouent un rôle clef dans le processus d'osmorégulation.
- Le  $\text{Ca}^{++}$  assure une fonction importante dans le signal de la réponse au stress.

Nous avons choisi la méthode de LAFON et *al.*, (1996) pour l'extraction et le dosage des sels minéraux. Elle consiste à mesurer la composition élémentaire d'une plante par calcination et la destruction complète de la matière organique (Martin-Prevel et *al.*, 1984), le résidu est ensuite analysé.

Les tiges, les feuilles et les racines de chaque plante sont enveloppées séparément dans du papier aluminium, puis numérotées. Les lots de chacun des organes sont étuvés pendant 48 heures à  $80^\circ\text{C}$ .

Les échantillons sont broyés à l'aide d'un broyeur. La fine poudre obtenue est placée dans des piluliers fermés hermétiquement.

-Peser 100mg d'échantillon végétale dans un creuset en porcelaine. Le creuset est placé dans un four à moufle à  $450^\circ\text{C}$  pendant 2 heures.



Figure n° 12 : four à moufle marque Nabertherm.

-Humecter les cendres obtenues par 01 ml de  $\text{HNO}_3$  après refroidissement des capsules. Et placer sur une plaque chauffante pour évaporer l'acide puis mise dans le four pendant 01 heure. Ajouter 1.5 ml de  $\text{HCl}$  6N au contenu du creuset, on laisse en contact 10 minutes.

-Filtrer le contenu sur papier filtre (Wattman) dans une fiole jaugée de 50 ml. Rincer la capsule et le filtre à l'eau tiède, filtrer et ajuster à 50 ml dans une fiole jaugée avec l'eau déminéralisé. Puis homogénéisé par agitation manuelle.

Cette solution se prête aux dosages par spectrophotomètre à flamme pour les trois éléments minéraux à savoir le sodium, le potassium et le calcium.



Figure n° 13 : spectrophotomètre à flamme marque Jenway.

#### 4. Traitement et analyse statistique

Tous les essais de la première expérience ont été répétés au moins trois fois, concernant les mesures des paramètres biochimiques et minéralogiques en relation avec la tolérance au stress salin. Les résultats, présentés sous forme d'histogrammes, ont été réalisés par le logiciel *Excel 2003*. L'analyse de variance à deux facteurs (facteur bentonite, facteur salinité et leur interaction) a été réalisée par l'utilisation du logiciel spécifique «*Stat Box version 6.4*».

#### Laboratoire d'analyse :

Toutes les expériences ont été réalisées au laboratoire de biodiversité et conservation des eaux et des sols (l'université de Mostaganem).

# **Résultats Obtenus et Discussions**

## Résultats Obtenus et Discussions

### I- Bilan hydrique

#### 1- Détermination de la teneur relative en eau

##### 1.1-Sans traitement à la Bentonite :

Les résultats obtenus dans les substrats sans traitement à la Bentonite, montrent que la teneur relative en eau diminue proportionnellement avec la concentration saline. Pour le traitement salin de 100 meq.l<sup>-1</sup> il y a une diminution remarquable avec des teneurs relatives en eau de 65.36%. Et pour le traitement salin de 50 meq.l<sup>-1</sup> représente une valeur de 67.53%. Par contre les résultats obtenus pour les substrats sans traitement salin montrent une valeur de RWC de 84.65%.

L'analyse de la variance des teneurs relative en eau montre une différence statistique hautement significative, pour les deux traitements salins par rapport aux feuilles des plantes témoins.

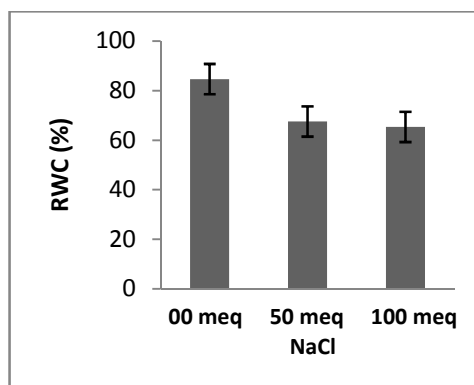
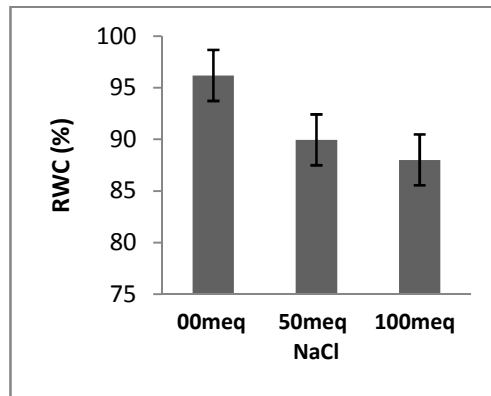


Figure n° 14 : Teneur relative en eau (%) des feuilles des plantes de *Raphanus sativus* L. cultivées en l'absence de Bentonite et stressées à la salinité.

##### 1-2 à 07% Bentonite :

Le traitement salin des feuilles à 07% de Bentonite améliore la teneur relative en eau des plantes et aussi non stressés. Mais l'eau diminue significativement lorsque les plantes reçoivent des solutions salines de 50 meq.l<sup>-1</sup> et 100 meq.l<sup>-1</sup>, les valeurs enregistrées sont de 89.95% et 88.01% respectivement.



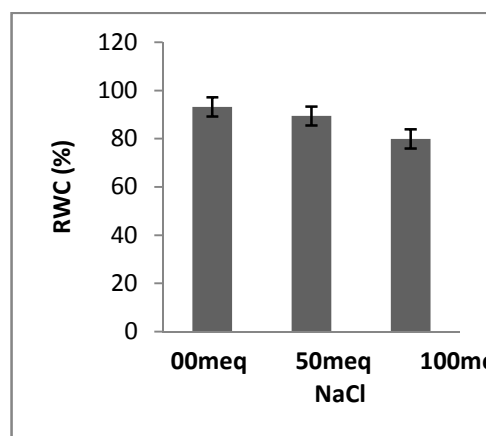
**Figure n° 15 :** Teneur relative en eau (%) des feuilles des plantes de *Raphanus sativus* L. cultivées à 07 % de Bentonite et stressées à la salinité.

D'après les résultats obtenus et comparativement au substrat sans Bentonite ; l'effet combiné de la Bentonite à 07% et l'application de concentrations salines de 50 meq.l<sup>-1</sup> et 100 meq.l<sup>-1</sup> a amélioré significativement la teneur relative en eau dans les plantes.

L'étude statistique révèle une différence significative, pour la teneur relative en eau chez les plantes stressées, en comparaison avec celle des plantes témoins.

#### 1-3 à 10% de Bentonite :

D'après les résultats obtenus et comparativement aux substrats à 07% de Bentonite, une légère diminution de la teneur relative en eau a été remarquée pour les plantes cultivées sur substrats à 10% de Bentonite, cette diminution est beaucoup plus important dans les plantes soumises au dose saline de 100meq.l<sup>-1</sup> (79.93%).



**Figure n° 16 :** Teneur relative en eau (%) des feuilles des plantes de *Raphanus sativus* L. cultivées à 10 % de Bentonite et stressées à la salinité.

A cet effet, les résultats indiquent que les feuilles n'ayant subi aucun traitement salin retiennent 93.19% d'eau dans leur tissus, cette teneur diminue significativement dans les feuilles des plantes traitées a 50 meq.l<sup>-1</sup> avec de valeur de 89.41% d'eau.

**Tableau n°10:** Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs relative en eau des feuilles et des racines de *Raphanus sativis* L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (en %)	Dose de NaCl (meq.l <sup>-1</sup> )	Teneur relative en eau RWC (%)
00	00	84,65±0.6
	50	67,53±1.23*
	100	65,36±0.51*
07	00	96,19±0.63
	50	89,95±0.95*
	100	88,01±1.62*
10	00	93,19±1.65
	50	89,41±0.53*
	100	79,93±0.87*

## DISCUSSIONS

L'analyse de la teneur relative en eau, permet de décrire d'une manière globale le statut hydrique de la plante et d'évaluer l'aptitude à réaliser une bonne osmorégulation et de maintenir une turgescence cellulaire (El Djaafari, 2000).

Le stress salin provoque une régression des valeurs de la teneur relative en eau des deux organes. Ces taux sont corrélés négativement et significativement avec la salinité ( $r = -0.89^{**}$  et  $r = -0.65^*$ ).

L'incorporation de l'argile dans les milieux de culture a permis aux plantes de maintenir un certain niveau de leurs caractéristique hydrique en présence de contrainte saline, a cet effet les plantes cultivées en présence de 07% de bentonite enregistrent les meilleures teneurs en eau dans les feuilles et les racines et semble faiblement corrélée avec la salinité par apport au autre dose appliquée ( $r = -0.61^*$  et  $r = -0.45$ ).

L'addition de la bentonite à des doses de 07 et 10% dans les substrats de cultures et en absence de traitement salin, améliore nettement le bilan hydrique des plantes.

Une relation hautement significative et inversement corrélée entre la salinité et la teneur relative en eau. Cette relation nous parait évidente et confirmée ce qui a été constaté au cours de nombreuses étude dans ce domaine (Benlaribi, 1990 ; Ali dib, 1992).

Généralement, on estime que les plantes traitées à 07% de bentonite, maintient en conditions de stress salin, une teneur en eau des feuilles et des racines supérieures à ceux des plantes traitées à 10% de bentonite,

La présence de sel dans le milieu modifie les propriétés de gonflement de l'argile et leur potentiel de rétention d'eau (Sally et Davis, 2004).

La bentonite de Mostaganem riche en argile de type montmorillonite, et selon Benkhelifa et Daoud (1998) l'amélioration des sols sableux avec la bentonite riche en montmorillonite améliore bien les caractéristiques physico-chimiques et hydriques des sols sableux. Des travaux récents ont montré que la bentonite de Mostaganem accrue de manière appréciable la teneur en eau du substrat ce qui se traduit par une augmentation de la teneur en eau des plantes (Benkhelifa, 2007).

Les particules de la bentonite présentent une grande affinité pour l'eau qui s'exprime d'une part par la quantité d'eau qu'est susceptible de retenir l'argile et d'autre part par l'énergie avec laquelle cette eau est retenue. Ce phénomène d'ordre capillaire résultant de la granulométrie fine des particules ainsi que de la présence de charges à la surface des feuillets vont contribuer à accentuer les interactions bentonite-eau.

Dans l'eau, la bentonite gonfle de 10 à 15 fois son volume original et absorbe 6,5 fois son poids en eau. (Yeşiloğlu, 2005).

Des remaniements osmotiques sont possibles suite à une augmentation des teneurs en proline ce qui est indiqué par l'existence des corrélations négatives entre la proline et la teneur relative en eau exprimée par une diminution de la TRE et une augmentation de proline.

Khan et *al.*, (2000) ont démontré que l'accroissement de la salinité aboutit à une baisse de la TRE et cause des changements biochimiques grâce à l'ajustement osmotique.

L'ajustement osmotique est fait par maintien de la turgescence des cellules et l'accumulation dans le cytoplasme de composés osmoprotecteurs (osmolytes)

Ces résultats démontrent que la salinité influence ce paramètre qui diminue pour éviter les pertes d'eau. En effet, l'absorption d'eau est maintenue à un niveau suffisant pour éviter la déshydratation des tissus de la plante, pour établir le phénomène de succulence et pouvoir diluer le plus d'osmolytes possibles (Hassani et *al.*, 2008).

Des travaux montrent que moins il y a d'eau dans le sol et plus la plante accumule de l'eau en réduisant sa transpiration. (Kaplan et Gate, 1972 cité par Hachemi, 2003).

Ces réactions d'adaptation sont destinées à rétablir l'équilibre hydrique dans la plante. (Hubac et Vieira, 1980).

## I- Bilan Biochimique :

### 2-1 Pigments Chlorophylliens :

#### 1- Sans traitement à la Bentonite :

Les valeurs obtenus montrent que les feuilles des plantes non stressées sont les plus élevées à celle des deux concentrations de 50 meq.l<sup>-1</sup> et 100 meq.l<sup>-1</sup>, on a observé une valeur de 8.81 µg/g pour le témoin non stressée et 07.68 µg/g pour la dose de 50 meq.l<sup>-1</sup> et 06.27 pour la dose de 100 meq.l<sup>-1</sup>.

L'analyse des résultats obtenus illustrent que la teneur en chlorophylle au niveau des feuilles dépend de la contrainte saline, avec un effet hautement significatif.

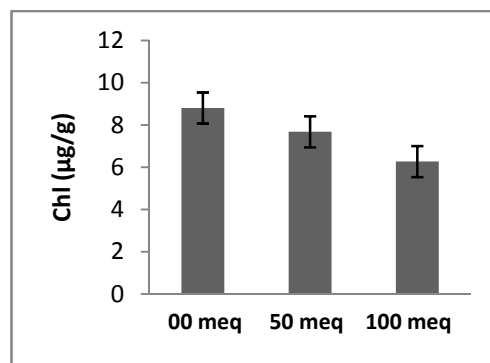


Figure n° 17 : Teneur en chlorophylle des feuilles des plantes de *Raphanus sativus* L. cultivées en l'absence de Bentonite et stressées à la salinité.

#### 2- à 07% de Bentonite :

Les résultats observés montrent que la teneur de chlorophylle chez les plantes non stressées est plus élevée (9.05 µg/g de MF), puis il y a une légère diminution à la concentration de 50 meq.l<sup>-1</sup> (8.6 µg/g de MF) ; mais pour la concentration de 100 meq.l<sup>-1</sup> il y a une diminution observable qui atteint à 5.78 µg/g de MF. Il apparaît clairement que les valeurs enregistrées de la chlorophylle sont affectées face à la contrainte saline imposée.

Le test statistique de la variance dégage un effet hautement significatif pour le taux de chlorophylle entre le traitement témoin et les deux autres traitements salins.

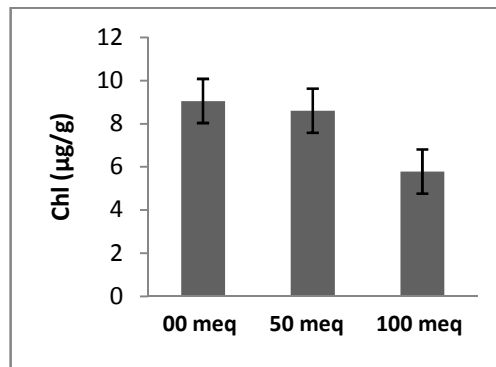


Figure n° 18 : Teneur en chlorophylle des feuilles des plantes de *Raphanus sativus* L. cultivées à 07 % de Bentonite et stressées à la salinité.

### 3- à 10% de Bentonite :

Selon la figure il apparait que le comportement des plantes à différentes doses, face à la contrainte saline imposée est différent. Néanmoins, les plantes de la dose de 100 meq.l<sup>-1</sup> sont les plus affectées (05.99 µg/g de MF). Cette valeur augmente pour le traitement de 50 meq.l<sup>-1</sup> (07.53 µg/g de MF) alors que les substrats sans traitement sont les plus élevées (09.94 µg/g de MF).

L'analyse de variance de ce paramètre montre la teneur en chlorophylle est fortement conditionnée par les variations de la solution saline. Le stress salin réduit fortement la teneur de la chlorophylle.

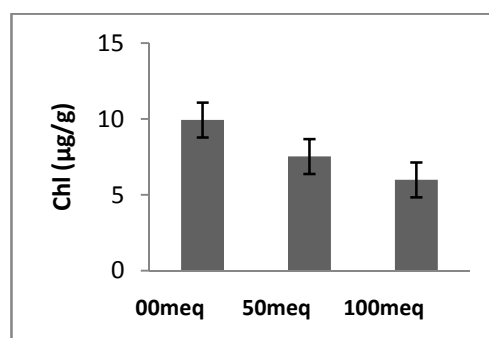


Figure n° 19 : Teneur en chlorophylle des feuilles des plantes de *Raphanus sativus* L. cultivées à 10 % de Bentonite et stressées à la salinité.

**Tableau n°11:** Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en pigment chlorophylle de *Raphanus sativus* L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.

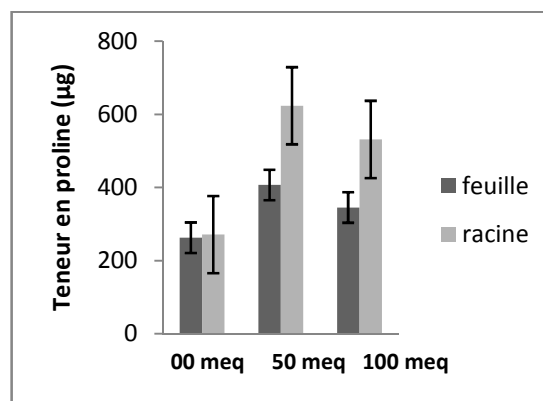
Dose de bentonite (en %)	Dose de NaCl (meq.l <sup>-1</sup> )	Teneurs en pigment chlorophylle
00	00	8,81±0.91
	50	7,68±0.58*
	100	6,27±1.02*
07	00	9,05±0.62
	50	8,6±1.32*
	100	5,78±0.54*
10	00	9,94±0.65
	50	7,53±0.54*
	100	5,99±0.89*

## 2-2 Proline :

### 1- Sans traitement à la Bentonite :

A la lecture des résultats, on note cependant des variations de grandeur de ce paramètre. L'accumulation de la proline est plus importante au niveau des plantes soumises à 50 meq.l<sup>-1</sup> de NaCl ou on a enregistré pour la proline foliaire 406.66 µg.g<sup>-1</sup> de MF et pour la proline racinaire 623.3 µg.g<sup>-1</sup> de MF. Puis au niveau des plantes soumises à 100 meq.l<sup>-1</sup> on a enregistré pour la proline foliaire 345 µg.g<sup>-1</sup> de MF et pour la proline racinaire 531.21 µg.g<sup>-1</sup> de MF. Chez le témoin, alors qu'il est plus basse soit 262.66 µg.g<sup>-1</sup> de MF pour la proline foliaire et 271.01 µg.g<sup>-1</sup> de MF pour la proline racinaire.

Les résultats statistiques dégagés de l'analyse de variance révèlent que le taux de la proline chez le radis dépend de l'effet de salinité, présente un effet significatif.



**Figure n° 20 :** Teneur en proline (µg) dans les feuilles et racines du *Raphanus sativus* L. cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

## 2- à 07% de Bentonite :

Les résultats obtenues montrent que les plantes soumises à la salinité ont réagi par une forte accumulation de proline foliaire et racinaire, avec un taux de  $520 \mu\text{g.g}^{-1}$  de MF et  $641.32 \mu\text{g.g}^{-1}$  de MF respectivement à la concentration de  $50 \text{ meq.l}^{-1}$ . Et un taux de  $515.33 \mu\text{g.g}^{-1}$  de MF et  $636.56 \mu\text{g.g}^{-1}$  de MF respectivement à la concentration de  $100 \text{ meq.l}^{-1}$ . Par contre le d'accumulation du proline aux les plantes témoins sont le moins important ;  $458.33 \mu\text{g.g}^{-1}$  de MF et  $520.22 \mu\text{g.g}^{-1}$  de MF.

L'analyse de variance montre que la teneur en proline a été affectée par le stress salin appliqué de manière hautement significative.

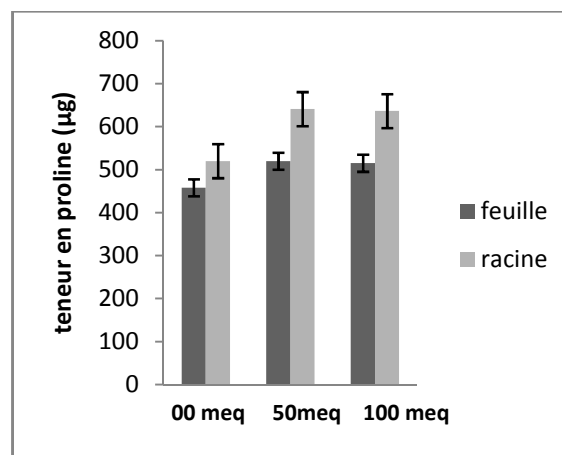


Figure n° 21 : Teneur en proline ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du *Raphanus sativus* L. cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

## 3- à 10% de Bentonite :

Les résultats observés de l'estimation de la teneur en proline démontrent que chez substrats traitées par la concentration de  $50 \text{ meq.l}^{-1}$  est le plus élevé correspond  $646 \mu\text{g.g}^{-1}$  de MF et  $696.23 \mu\text{g.g}^{-1}$  de MF ; cette teneur a diminué de  $639 \mu\text{g.g}^{-1}$  de MF et  $665.36 \mu\text{g.g}^{-1}$  de MF au niveau du lot traités à  $100 \text{ meq.l}^{-1}$  et de  $496 \mu\text{g.g}^{-1}$  de MF et  $533.96 \mu\text{g.g}^{-1}$  de MF au niveau du lot témoin.

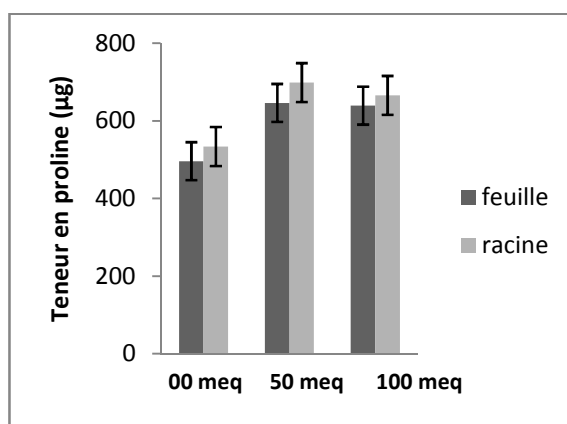


Figure n° 22 : Teneur en proline ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du *Raphanus sativus* L. cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

L'analyse statistique démontre des résultats hautement significatifs pour l'impact du NaCl sur la teneur en proline.

Tableau n° 12: Test statistique de signification de Fisher ( $P= 05\%$ ) des teneurs en proline des feuilles et des racines de *Raphanus sativus* L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (en %)	Dose de NaCl ( $\text{meq.l}^{-1}$ )	Teneurs en proline	
		Feuilles	Racines
00	00	262,66±3.26	271.01±2.56
	50	406.66±2.65*	623.3±3.96*
	100	345±4.58*	531.31±3.87*
07	00	458.33±5.58	520.22±4.65
	50	520±3.02*	641.32±2.45*
	100	515.33±4.78*	636.56±4.03*
10	00	496±6.25	533.96±5.85
	50	646±3.58*	698.23±4.69*
	100	639±4.69*	665.36±3.47*

## DUSCUSSION

Les résultats obtenus montrés qu'il y a une augmentation de la quantité de proline foliaire et racinaire pendant l'application du stress salin. L'excès de sel provoque chez la plante une accumulation de proline.

La teneur en proline foliaire et racinaire des plantes stressées est supérieure à celle enregistrée chez les plantes témoins.

Le taux de proline dans les feuilles et les racines des plantes non stressées est élevé dans les substrats traités à la bentonite ( $r= 0.78^{**}$  et  $r= 0.87^{**}$ ).

L'accumulation du proline est positivement corrélée avec le degré de la salinité ( $r=0,65^{**}$ ) ( $r=0,81^{**}$ ) pour les deux organes respectivement. Les racines accumulent d'avantage le proline sous l'effet combiné de la bentonite et de la salinité.

Nos résultats viennent confirmer ceux de M<sup>r</sup> Monneveux et Nemmar, (1986) ; Bellinger *et al.*, (1991) et Gorham, (1993).

Certains auteurs pensent que les quantités accumulées pourraient être liées au niveau de tolérance aux stress (Singh *et al.*, 1973) et l'accumulation de Proline en réponse à un stress salin peut être due à l'augmentation de la biosynthèse, le catabolisme diminuée, ou une combinaison des deux. (Trinchant *et al.*, 2004).

Et la proline accumulée pourrait jouer un rôle d'osmoticum (Kauss, 1977). Elle pourrait également intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique (Pesci et Beffagna, 1984) ou constituer une réserve d'azote utilisée par la plante postérieurement à la période de stress (Tal et Rosenthal, 1979). L'accumulation de proline permet la protection de la membrane cellulaire et participe à l'ajustement osmotique, (Belkhodja, 2004).

Ces résultats se justifieraient par l'oxydation de la proline au fur et à mesure de sa formation en condition d'alimentation normale. Cependant sous l'effet de la contrainte « halohydrique », il y'a inhibition de cette oxydation car du stress résulte des dommages ultras structuraux. Ces résultats sont confirmés par plusieurs travaux tels que ceux de Belhassen, (1993).

L'augmentation de proline est inversement proportionnelle à la teneur relative en eau dans les feuilles dans les conditions de stress salin qui montre par une corrélation négative entre la teneur relative en eau et l'accumulation de proline.

Parallèlement à cette augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet de stress, une baisse dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (chlorophylles a et b). En revanche, cette diminution est plus marquée chez les plantes cultivées en substrat de 10% et 07% de bentonite et 100 meq l<sup>-1</sup> que chez les 50meq l<sup>-1</sup>. Les mêmes résultats ont été observés par Lowlor et Fock, (1978).

Il y a des résultats inverses entre les teneurs en proline accumulées et les teneurs en pigments chlorophylliens perdues par chaque une plante traitée par la bentonite. La plante qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa.

Ces constatations se confirment par la nette relation négative et significative révélée entre le stress salin et la teneur en pigments chlorophylliens en absence de bentonite ( $r = -0.68$ ) et en présence de bentonite ( $r = -0.57$  et  $r = -0.51$ ).

Ces résultats suggèrent l'existence d'une connexion vraisemblable entre les voies de biosynthèse des pigments chlorophylliens et de la proline. Une compétition entre ces deux composés sur le précurseur commun, le glutamate, peut être à l'origine de cette évolution (Bengston et al, 1978 ; Reddy et Veeranjanyulu, 1991).

Une étroite corrélation négative est observée entre le stress salin et les teneurs en pigments chlorophylliens. Ces corrélations sont traduites par les faibles teneurs en chlorophylliens en situation de stress appliqué. La teneur en chlorophylle a été affectée par le manque d'eau induit par le stress appliqué de manière significative et proportionnelle à l'intensité du stress appliqué chez les plantes testées. Cette baisse observée par les plantes du traitement a été significativement plus importante que celle des plantes des témoins.

Alberte et Thomber en 1977 et Bhardwaj et Singhal en 1981 montrent que cette réduction est concomitante d'une diminution de la teneur des protéines thylacoïdales associées aux chlorophylles a et b. Ces auteurs considèrent que la réduction de la teneur en pigments chlorophylliens est peut être due soit à une diminution de la synthèse de ces protéines, soit à une activation de leur dégradation.

D'autre part peut être il y a une corrélation négative entre l'accumulation de la proline et de la tolérance au sel. Cependant, de nombreux rapports indiquent cette corrélation (Handa et al., 1986).

Rajaskaran et al (2000) ont montré que l'accumulation de la proline en réponse à la salinité n'est pas corrélée avec le degré de tolérance. De même dans cette étude, l'augmentation des teneurs de la solution d'irrigation en sel est accompagnée parallèlement par une augmentation croissante et relativement régulière de proline, mais qui n'est pas liée identiquement à la tolérance des plantes à la salinité. (Denden, 2005).

### III- Bilan minéral du sodium ; potassium et du calcium dans la plante (feuilles et racines)

#### A- Teneur en sodium :

##### 1- Sans traitement à la Bentonite :

Les résultats obtenus montrent que le niveau du sodium est plus élevé dans les racines par rapport les feuilles. On observe que l'accumulation de sodium dans les organes étudiés augmente proportionnellement avec la dose de la solution saline. Les échantillons témoins pour les feuilles enregistrent des teneurs en sodium de 9.5 µg, qui passe à 14.8 µg puis 14.9 µg respectivement pour des concentrations salines de 50 et 100 meq.l<sup>-1</sup>, et pour la teneur de sodium dans les racines on a 11.6 µg a 00 meq.l<sup>-1</sup>, 16.2 µg a 50 meq.l<sup>-1</sup> et 16.4 µg a 100 meq.l<sup>-1</sup>.

Le test statistique nous à permet de signaler des variations hautement significatives pour l'accumulation foliaire et racinaire entre le traitement témoin et les deux autres traitements salins.

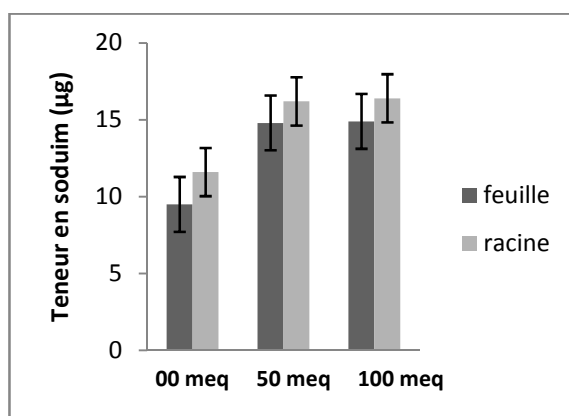
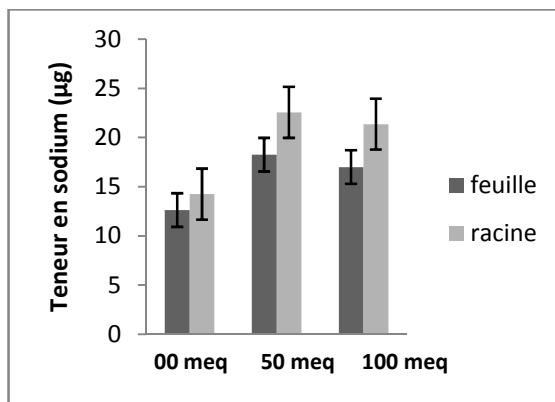


Figure n° 23 : Teneur en sodium (µg) dans les feuilles et racines du *Raphanus sativus* L. cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

##### 2- à 07% de Bentonite :

Dans les substrats traités par la bentonite à 07%, les teneurs obtenus en sodium deviennent plus élevées comparativement au sol sans bentonite. Il y a un enregistrement de teneur en sodium de 12.63 µg dans les feuilles des plantes non stressées et qui est passé à 18.26 µg et 17 µg pour des concentrations salines de 50 et 100 meq.l<sup>-1</sup>. Par contre pour les racines il a remarqué une sensible augmentation de sodium allant à 14.25 µg au témoin, 22.56 µg à la concentration 50 meq.l<sup>-1</sup> et 21.36 µg pour 100 meq.l<sup>-1</sup>.

D'après l'analyse statistique de la variance au seuil de (P=5%), nous a permet de résoudre une différence significative par apport aux feuilles des plantes non stressé. Et aussi pour les racines montrent une variabilité significative



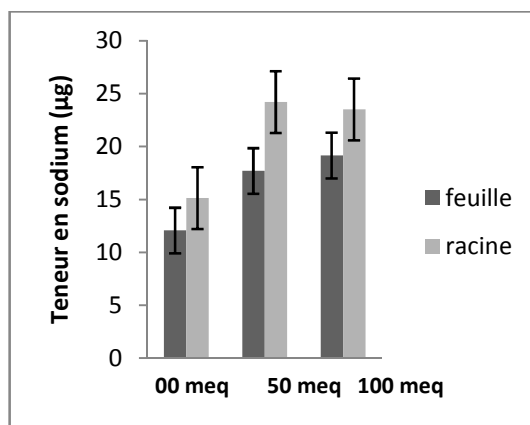
**Figure n° 24 :** Teneur en sodium (µg) dans les feuilles et racines du *Raphanus sativus* L. cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

### 3- à 10% de Bentonite :

Les teneurs obtenues de sodium dans les feuilles sont considérables dans les deux concentrations salines (17.7 et 19.16 µg). Par contre la teneur en sodium pour le témoin est relativement faible (12.07 µg)

Nous constatons que les teneurs en sodium dans les racines sont plus élevés comparativement à celle enregistrées chez les feuilles (15.13, 24.21 et 23.51µg).

Selon l'analyse statistique montre que les oscillations des valeurs de ce paramètre sont hautement significatives pour les deux traitements salins.



**Figure n° 25 :** Teneur en sodium (µg) dans les feuilles et racines du *Raphanus sativus* L. cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

**Tableau n°13:** Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en sodium des feuilles et des racines de *Raphanus sativus* L. stressées pendant deux semaines à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.

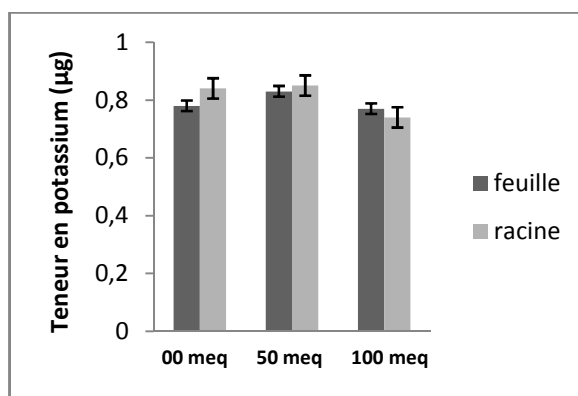
Dose de bentonite (en %)	Dose de NaCl (meq.l <sup>-1</sup> )	Teneurs en sodium (µg)	
		Feuilles	Racines
00	00	9,5±1.23	11,6±0.98
	50	14.8±0.23*	16.2±0.63*
	100	14.9±0.63*	16.4±0.25*
07	00	12.63±1.52	14.25±1.56
	50	18.26±1.36*	22.56±2.03*
	100	17±0.89*	21.36±1.53*
10	00	12.07±0.98	15.13±0.87
	50	17.7±1.63*	24.21±1.25*
	100	19.16±2.12*	23.51±1.54*

## B- Teneur en potassium :

### 1- Sans traitement à la Bentonite :

Les résultats obtenus pour le potassium de la plante du substrat sans bentonite varient entre 0.74 µg et 0.85 µg avec une différence faible de la teneur en potassium entre les plantes non stressées et soumises au stress salin. Les racines présentent le niveau le plus élevé avec une valeur de 0.85 µg. Dans la plante à 50 meq.l<sup>-1</sup> de dose saline, le potassium devient le supérieur comparativement aux autres doses soit dans les feuilles ou dans les racines. Avec une remarque un résultat presque identique pour la dose de 100 meq.l<sup>-1</sup> et la dose de 00 meq.l<sup>-1</sup> (0.78 µg et 0.77 µg pour les feuilles et 0.84 µg et 0.85 µg pour les racines).

L'analyse de variance montre la teneur en potassium chez les feuilles et les racines aucune différence significative n'est repérée entre les traitements salins et le témoin.



**Figure n°26 :** Teneur en potassium (µg) dans les feuilles et racines du *Raphanus sativus* L. cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

## 2- à 07% de Bentonite :

Les résultats obtenus dans les plantes non soumises au stress salin, montrent que la teneur en potassium est le plus faible par rapport aux autres doses (0.68  $\mu\text{g}$ ). Et aussi pour les trois doses la variation du potassium est moins importante entre les feuilles et les racines. Le potassium augmente dans les racines de la plante quel que soit le traitement salin (0.87, 0.96 et 0.97  $\mu\text{g}$ ). Et comparativement au substrat sans bentonite les résultats sont presque identiques.

Le test statistique apporté pour cette étude montre une faible sensibilité des racines pour ce paramètre chez les deux traitements salines, qui à nous permet de conclure une variabilité significative par rapport des témoins.

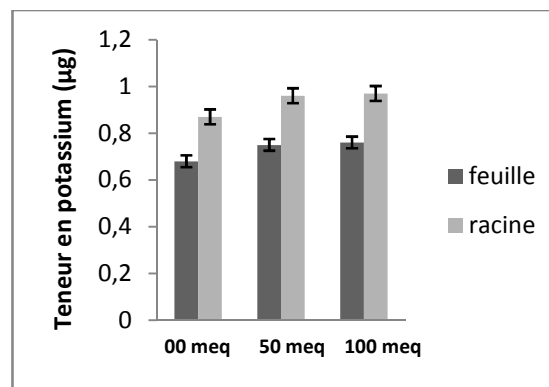


Figure n° 27 : Teneur en potassium ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du *Raphanus sativus* L. cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

## 3- à 10% de Bentonite :

D'après les résultats obtenus dans les substrats à 10% de bentonite et par rapport au sol sans amendement de bentonite, une augmentation conséquente des teneurs en potassium ont été remarquées dans les feuilles du radis à 00 meq.l<sup>-1</sup> (1.0  $\mu\text{g}$ ). Néanmoins, ces concentrations diminuent sensiblement à 50 meq.l<sup>-1</sup> et 100 meq.l<sup>-1</sup> dans les feuilles (0.68  $\mu\text{g}$  et 0.72  $\mu\text{g}$ ), et pour les racines la teneur en potassium reste entre 0.95  $\mu\text{g}$  et 0.97  $\mu\text{g}$ .

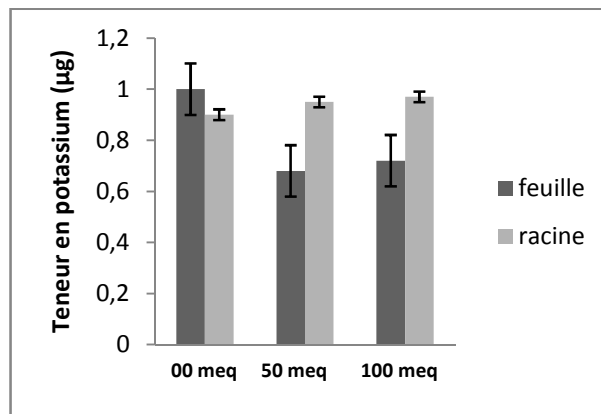


Figure n°28 : Teneur en potassium ( $\mu\text{g}$ ) dans les feuilles et racines du *Raphanus sativus* L. cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

L'analyse de la variance montre une différence significative pour les feuilles et les racines de plantes stressées à celle des témoins.

Tableau n°14: Test statistique de signification de Fisher ( $P= 05\%$ ) des teneurs en potassium des feuilles et des racines de *Raphanus sativus* L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (en %)	Dose de NaCl ( $\text{meq.l}^{-1}$ )	Teneurs en potassium ( $\mu\text{g}$ )	
		Feuilles	Racines
00	00	$0.78 \pm 0.08$	$0.84 \pm 0.05$
	50	$0.83 \pm 0.01$	$0.85 \pm 0.2$
	100	$0.77 \pm 0.06$	$0.74 \pm 0.04$
07	00	$0.68 \pm 0.32$	$0.87 \pm 0.08$
	50	$0.75 \pm 0.1$	$0.96 \pm 0.06$
	100	$0.76 \pm 0.08$	$0.97 \pm 0.05$
10	00	$1.0 \pm 2.08$	$0.90 \pm 0.14$
	50	$0.68 \pm 0.05$	$0.95 \pm 0.12$
	100	$0.72 \pm 0.13$	$0.97 \pm 0.09$

### C- Teneur en calcium :

#### 1- Sans traitement à la Bentonite :

Les teneurs obtenus en calcium dans les plantes du radis cultivés sur substrat non traité de bentonite sont ; 0.52, 0.91 et 0.81  $\mu\text{g}$  pour les feuilles et 0.89, 1.75 et 1.63  $\mu\text{g}$  pour les racines ; donc pour les deux organes il y a une augmentation progressive de la teneur en calcium. Les racines représentent les teneurs les plus élevées en calcium et notamment la dose de 50  $\text{meq.l}^{-1}$  (1.75  $\mu\text{g}$ ).

Le test statistique nous à permet de résoudre une différence statistique significative par apport aux plantes non stressé.

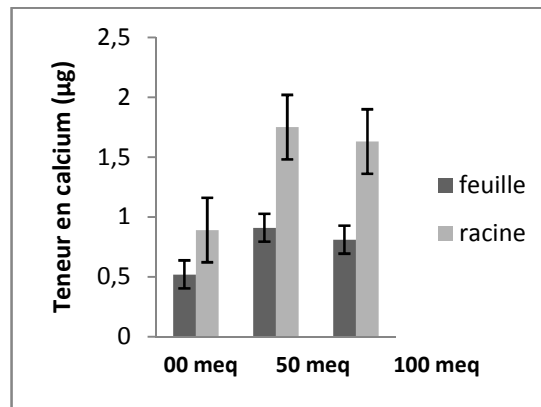


Figure n° 29 : Teneur en calcium (µg) dans les feuilles et racines du *Raphanus sativus* L. cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

## 2- à 07% de Bentonite :

La figure obtenue représente que le niveau du calcium est relativement moins important dans les feuilles, les racines enregistrent les niveaux les plus élevés et la dose de 50 meq.l<sup>-1</sup> montre le taux le plus élevé (1.94 µg). Néanmoins, ces concentrations diminuent sensiblement à 100 meq.l<sup>-1</sup> dans les deux organes de la plante, avec des valeurs obtenues variant entre 0.48 et 0.89 µg. cette diminution du calcium s'explique par la forte absorption qui s'est produit dans la plante à la concentration salines de 100 meq.l<sup>-1</sup>.

A travers le traitement statistique il est constaté qui il existe un seul effet significatif de la salinité au NaCl sur la teneur racinaire en calcium. Est celle enregistrées entres les plantes non stressée et celle des traitements soumis à 50 meq.l<sup>-1</sup>.

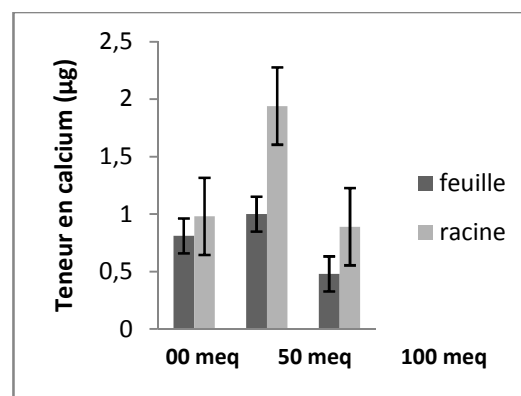


Figure n° 30 : Teneur en calcium (µg) dans les feuilles et racines du *Raphanus sativus* L. cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

### 3- à 10% de Bentonite :

Le radis cultivé sur le milieu témoin présente des teneurs foliaire et racinaire en calcium de valeurs respectives 0,94 et 0,98 µg. La charge des racines en calcium est supérieure à celle des feuilles dans les trois doses. La salinité provoque une diminution des teneurs racinaires en ce cation alors que cette diminution est plus marquée dans le cas des feuilles. Sur NaCl 100 meq.l<sup>-1</sup>, les charges foliaire et racinaire en calcium atteignent respectivement 0,57 et 0,72 µg.

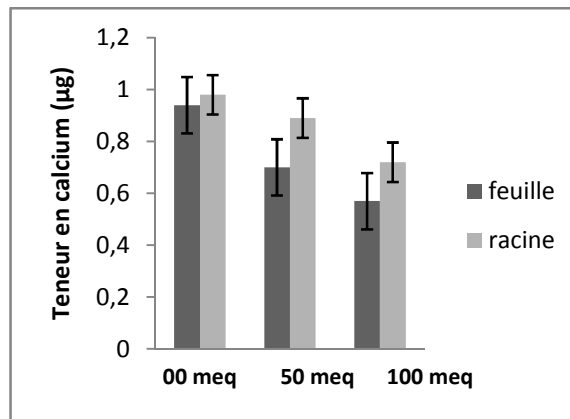


Figure n° 31 : Teneur en calcium (µg) dans les feuilles et racines du *Raphanus sativus* L. cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

Le test statistique apporté pour cette étude montre une grande sensibilité des feuilles pour ce paramètre chez les deux traitements qui a nous permet conclure une variabilité significative par rapport des témoins.

Tableau n°15: Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en calcium des feuilles et des racines de *Raphanus sativus* L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (en %)	Dose de NaCl (meq.l <sup>-1</sup> )	Teneurs en calcium (µg)	
		Feuilles	Racines
00	00	0.52±0.06	0.89±0.08
	50	0.91±0.05*	1.75±0.12
	100	0.81±0.04*	1.63±0.15*
07	00	0.81±0.12	0.98±0.14
	50	1.00±0.09*	1.94±0.06
	100	0.48±0.06*	0.89±0.14
10	00	0.94±0.14	0.98±0.08
	50	0.70±0.06*	0.89±0.07
	100	0.57±0.05*	0.72±0.13*

## DUSCUSSION :

La quantité d'ions minéraux est influencée par la concentration en sel à laquelle est soumise la plante. et l'effet des concentrations salines sur les variations des teneurs en éléments est significatif. Nous remarquons, Chez les plantes témoins, une augmentation de la teneur en  $\text{Na}^+$  suite à l'accroissement de la concentration saline et Nous constatons aussi, que les plantes traitées à la bentonite enregistrent les teneurs les plus élevées à la dose de  $100 \text{ meq.l}^{-1}$ .

La salinité appliquée a provoqué une augmentation significative des teneurs en sodium dans les deux organes du radis et en l'absence de bentonite ( $r= 0.83^{**}$  et  $r= 0.86^{**}$ ).

Les feuilles et les racines des plantes cultivées dans les substrats à 10% de bentonite et stressées accumulent des teneurs les plus important que les plantes cultivées dans les substrats traitées a 07% de bentonite et recevant la même concentration saline ( $r= 0.91^{**}$  et  $r= 0.96^{**}$ ).

Sous l'effet de ce stress, la perte d'eau entraîne une augmentation de la concentration en sodium du cytoplasme provoquant ainsi une cytotoxicité.

La combinaison salinité-bentonite affecte fortement la nutrition minérale de la plante. L'accumulation de  $\text{Na}^+$  est moindre dans la partie aérienne que la partie racinaire et prend la classe des plantes « excluser ».

La protection contre la toxicité des ions se fait par plusieurs mécanismes qui diffèrent selon la catégorie de la plante. Chez les plantes sensibles à  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}$  s'accumule dans les racines mais il est exclu des feuilles (Slama, 1986). Ces plantes sont dites « excluser » vis-à-vis de  $\text{Na}$ . À l'inverse, les plantes tolérant  $\text{NaCl}$  sont dites « incluser » car elles ont en général des feuilles plus chargées en  $\text{Na}$  que les racines lorsqu'elles sont cultivées en présence de sel (Slama, 1986).

Les glycophytes, plantes poussant dans les sols non salés, paraissent généralement incapables d'assurer à la fois un transfert important d'ions des racines vers les feuilles ainsi qu'une compartimentation cellulaire efficace (Belfakih et *al.*, 2013). D'après Greenway et Munns (1980), les plantes les plus résistantes sont celles qui évitent une absorption trop importante d'ions.

Les espèces incapables de compartimenter  $\text{Na}^+$  dans leurs feuilles sont nettement plus sensibles à la salinité. En effet, ces espèces semblent peu efficaces pour abaisser la concentration cytoplasmique de  $\text{Na}^+$ , ce qui est peut être l'une des causes profondes de leur sensibilité au niveau cellulaire, mais l'incapacité de débarrasser le cytoplasme de  $\text{Na}^+$  a pour conséquence que cet ion est facilement transporté dans le phloème de ces plantes (Zid et Grignon, 1986). L'exclusion continue de  $\text{Na}^+$  vers le bas de la plante traduit le comportement d'exclusion.

Pour le potassium ; L'adjonction de la bentonite se traduit par de légère augmentation du potassium dans les deux organes de la plante. Le niveau du potassium augmente considérablement avec l'application de la combinaison sel-bentonite.

Les feuilles et racines des plantes cultivées dans les substrats à 07% et 10% de bentonite, accumulent des quantités élevées de potassium sous l'effet de la salinité. Elle apparait une corrélation significative positive avec la salinité ( $r= 0.71^{**}$  et  $r= 0.79^{**}$ ) pour 07% de bentonite et ( $r= 0.70^{**}$  et  $r= 0.8^{**}$ ) pour 10% de bentonite.

Par contre, la plus part des plantes qui sont déjà étudiées par d'autres auteurs, montre que l'élément de  $\text{K}^+$  est négativement corrélé avec l'accumulation de  $\text{Na}^+$ . En effet, le taux élevé de  $\text{Na}^+$  et un taux faible de  $\text{K}^+$  lors du stress salin quelque soit la concentration en sel du substrat met en exergue une fois de plus l'antagonisme entre le sodium et le potassium (Belfakih et *al.*, 2013).

L'importance de l'augmentation de la teneur en  $\text{K}^+$  pourrait être donc un indicateur de la tolérance au sel. (Belfakih et *al.*, 2013). Cette caractéristique ionique se rencontre généralement chez les espèces où la teneur élevée en  $\text{K}^+$  est corrélée avec la tolérance au sel (Taleisnik-Gertel et Tal, 1986). L'efficacité d'absorption et d'utilisation du  $\text{K}^+$ , qui agit comme osmoticum, est donc capitale dans l'adaptation au stress salin (Hamrouni et *al.*, 2011 ; Niu et *al.*, 2010 ; Aktas et *al.*, 2006). La sélectivité en faveur de  $\text{K}^+$  a été rapporté par plusieurs auteurs (Bizid et *al.*, 1988 ; El Mekkaoui, 1992).

Belfakih et *al.*, (2013) expliquent l'augmentation du  $\text{k}^+$  dans la partie aérienne. que le potassium est très sollicité au niveau du compartiment aérien pour la réalisation des métabolismes cellulaires où il est généralement employé comme cofacteur dans les réactions enzymatiques et biochimiques.

L'augmentation de cette teneur dans les parties aériennes semble indiquer un comportement d'ajustement osmotique (surtout après l'invasion des ions sodium) qui, par

conséquent, assure la survie des plants, La plante adsorbe et véhicule le maximum de potassium vers la partie aérienne afin d'assurer un ajustement osmotique. Il semble que c'est surtout au niveau des feuilles que la plante rétablit l'équilibre de son potentiel osmotique via l'ion potassium et atténue ainsi le stress osmotique engendré par NaCl. La capacité de la plante à pomper le potassium de la solution nutritive, puis de le véhiculer vers les feuilles, représente une stratégie d'adaptation au stress salin via la régulation osmotique par l'ion potassium. Ces résultats pourraient indiquer une sélectivité vis-à-vis de  $K^+$  aux fortes concentrations en NaCl. (Belfakih et *al.*, 2013)

Le potassium ( $K^+$ ) est échangé préférentiellement au calcium ( $Ca^{2+}$ ) dans toutes les argiles de sols et la montmorillonite de référence. La sélectivité des argiles vis-à-vis du  $K^+$  diminue lorsque leur taux de saturation en  $K^+$  augmente. La sélectivité des argiles vis-à-vis du  $K^+$  est plus corrélée avec leurs charges interfoliaires et tétraédriques qu'avec leurs charges totales. (Moujahid, 2007).

Les ions  $Na^+$  sont accumulés en quantités importantes par rapport à ceux de  $K^+$ . La présence de sel dans le milieu perturbe l'alimentation minérale de la plante. La teneur en  $K^+$  accumulée dans les feuilles augmente avec l'accroissement de la dose saline. En présence de sel, les plants transportent dans leurs feuilles des quantités en  $Na^+$  plus importantes qu'en  $K^+$ . La faible accumulation, de  $K^+$  s'accompagne d'une diminution de la teneur en eau. L'évolution de cette dernière, signifie que la croissance de la feuille est liée à la quantité de  $K^+$  qui lui parvient. Cette situation résulte essentiellement de l'exportation sélective vers le haut de la plante du sodium importé dans la feuille par le xylème (Lessani et Marschner, 1978).

Pour le calcium, son absorption est majoritaire pour les plantes stressées étudiées quel que soit le type de traitement appliqué. Pour le traitement témoin, son accumulation racinaire est plus importante que son transport vers les parties aériennes. La présence de sel diminue les teneurs des feuilles et des racines en  $Ca^{2+}$ . En effet, Chez le Radis, les teneurs foliaire, et racinaire en ce cation passent de ( $r= 0.46$  et  $r= 0.54$ ) sur milieu témoin et ( $r= 0.52$  et  $r= 0.61$ ) en présence de bentonite.

Les teneurs en  $Ca^{2+}$  des feuilles et des racines sont plus faibles concentration par rapport les deux autres ions. Ceci pourrait s'expliquer par une compétition entre  $Na^+$  et  $Ca^{2+}$  pour les mêmes sites d'absorption qui peut conduire à des perturbations nutritionnelles notamment la déficience calcique en présence de fortes concentrations

salines (Haddad and Coudret, 1991). Les feuilles accumulent généralement plus de  $K^+$  que de  $Ca^{2+}$ .

En outre, nous avons montré que l'addition de bentonite a un effet positif sur l'alimentation calcique qui se traduit par une légère augmentation des teneurs foliaire et racinaire en  $Ca^{2+}$  des plantes étudiées. Ceci pourrait s'expliquer par la nature calcique de la bentonite utilisée (Seghairi et al., 2004).

En effet, le radis apparaît comme une plante calcicole, Ces plantes acceptent un excès de calcaire dans le sol. Elles ont la capacité de pouvoir continuer à absorber les éléments indispensables, comme le fer et le magnésium, même en présence d'une forte proportion de calcaire.

Le niveau de tolérance d'une espèce pourrait être également lié à sa teneur racinaire en  $Ca^{2+}$  (Pourrat et Dutuit, 1994).

#### Etude du ratio $K^+/Na^+$ selon les organes de la plante :

##### 1- Sans traitement à la Bentonite :

Lorsque les plantes reçoivent la solution saline, le rapport  $K^+/Na^+$  chez les feuilles à régressé de 0.082 à 0.056 au niveau des traitements témoins et du traitement salines (50 meq.l<sup>-1</sup>), avec le doublement de cette concentration (100 meq.l<sup>-1</sup>) le ratio étudié diminue à 0.051. Ce ratio évolue dans le même sens chez les racines pour les deux concentrations.

Le test de fisher montre une variation statistique significative pour les feuilles et les racines des plantes stressées.

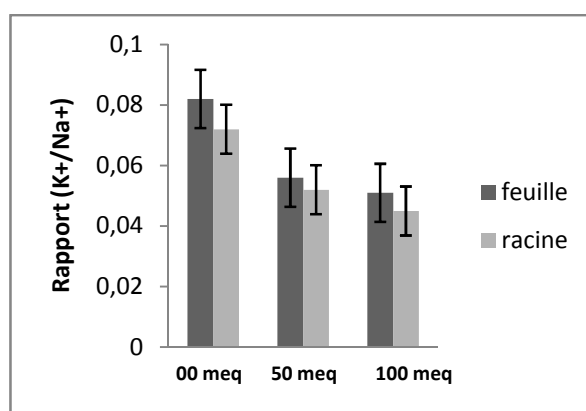


Figure n° 32 : Rapport potassium/sodium dans les feuilles et racines des plantes de *Raphanus sativus* L. cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

## 2- à 07% de Bentonite :

Le ratio  $K^+/Na^+$  chez les feuilles et les racines, est diminuée avec l'évolution de la concentration salines lorsque les plantes reçoivent la première dose saline (0.041 et 0.042), puis il y a une légère augmentation à la dose de 100 meq.l<sup>-1</sup> (0.044 et 0.045) respectivement.

L'étude statistique montre une variation statistiquement significative pour ce paramètre dans l'ensemble des traitements.

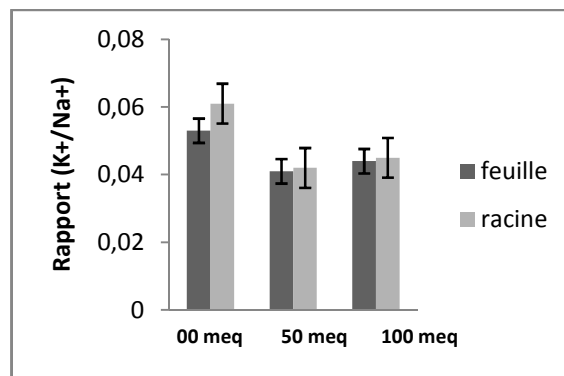


Figure n° 33 : Rapport potassium/sodium dans les feuilles et racines des plantes de *Raphanus sativus* L. cultivées à 07% de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

## 3- à 10% de Bentonite :

L'ajout de la bentonite à 10 % dans les substrats de culture et en présence des deux concentrations salines dans le milieu, induit à une chute dans les valeurs de rapport potassium/ sodium foliaire et racinaire comparativement aux plantes non stressées.

Les résultats obtenues pour les plantes traités à 50 meq.l<sup>-1</sup> sont ; 0.037 pour les feuilles et 0.039 pour les racines. Et les résultats obtenues pour les plantes traités à 100 meq.l<sup>-1</sup> sont ; 0.037 pour les feuilles et 0.041 pour les racines.

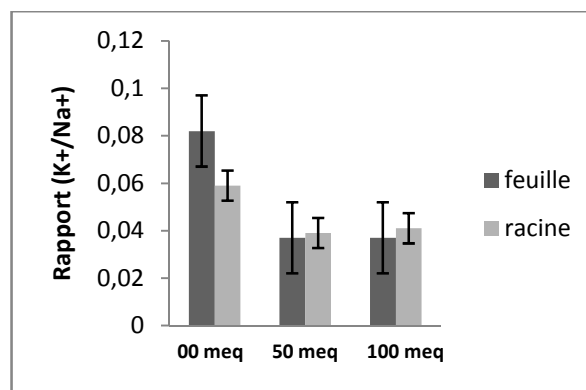


Figure n° 34 : Rapport potassium/sodium dans les feuilles et racines des plantes de *Raphanus sativus* L. cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

L'analyse statistique de la variance montre qu'il y a un effet significatif de la salinité sur le rapport  $K^+/Na^+$  chez les deux organes étudiés.

**Tableau n°16:** Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) du rapport potassium/sodium des feuilles et des racines de *Raphanus sativus* L. stressées pendant deux semaines à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (en %)	Dose de NaCl (meq.l-1)	$K^+/Na^+$ ( $\mu g$ )	
		Feuilles	Racines
00	00	0,082±0.09	0,072±0.12
	50	0,056±0.15	0,052±0.07
	100	0,051±0.06	0,045±0.06
07	00	0,053±0.20	0,061±0.09
	50	0,041±0.08	0,042±0.13
	100	0,044±0.04	0,045±0.07
10	00	0,082±0.14	0,059±0.13
	50	0,037±0.10	0,039±0.05
	100	0,037±0.07	0,041±0.04

## DUSCUSSION:

En présence de bentonite, Les plantes enregistrent des taux élevés en potassium ; et le ratio  $K^+/Na^+$  devient plus important.

Aux fortes concentrations (100 meq), les rapports  $K^+/Na^+$  révèlent que les plantes tolèrent mieux la salinité soit en substrats de 07% ou les substrats de 10%. Les plantes qui présentent les rapports les plus élevés sont les plus tolérantes et les plus sensibles présentent les rapports  $K^+/Na^+$  les plus faibles.

Le rapport  $K^+/Na^+$  de l'accumulation dans les racines et les feuilles diminue avec la salinité mais reste en faveur de  $K^+$ , tant que la concentration en NaCl de l'eau d'arrosage ne dépasse pas 50 et 100 meq, respectivement dans les feuilles des plantes cultivées. Weimberg et al, 1984 a montré que la tolérance à la salinité chez le blé serait due à une forte sélectivité en faveur de  $K^+$  témoignant de l'aptitude de cette espèce à discriminer le  $K^+$  et le  $Na^+$  au niveau de l'absorption racinaire et du transport dans les parties aériennes.

Le rapport  $K^+/Na^+$  reste parfaitement constant et inférieur à 01, même chez les plantes témoins. Ceci signifie que  $Na^+$  est toujours prédominant, dans ces organes, relativement à  $K^+$ .

Cette amélioration des teneurs en potassium met en évidence la richesse de la bentonite en  $\text{Ca}^{2+}$  (Achour et youcef, 2003, Seghairi et *al.*, 2004). Cet élément joue un rôle régulateur de ratio  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  et améliore la tolérance des plantes aux stress salin (Dina et *al.*, 2002), les même résultats sont observées lorsque les plantes bénéficient d'un rapport externe de calcium (Taibi, 2009).

La tolérance au sel n'est pas toujours associés à une moindre accumulation de sodium (Collins et *al.*, 2008) mais plutôt à la capacité de maintenir un équilibre ionique (Albacete et al, 2009) dans ces conditions de salinité associé avec des doses de bentonite l'aptitude d'absorption de potassium par les racines devient un facteur important qui influes le niveau de sélectivité ionique (Alem et Amri, 2005).

# **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

La salinité affecterait de plusieurs manières la croissance de la plante soit en diminuant la disponibilité en eau, soit en provoquant une accumulation des ions à des doses toxiques (Shannon, 1985 ; Ashraf, 1994).

Le stress de salinité est, en partie, un stress nutritionnel résultant des effets néfastes de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , de l'interférence de ces ions avec l'absorption d'éléments physiologiquement essentiels tels que  $\text{K}^+$ , et enfin du stress hydrique (Awada et *al.*, 1995 ; Cerda et *al.*, 1995).

Les radis sont parmi les légumes les plus faciles à cultiver. La variété 'National' est une variété rustique, pour pleine terre. Elle a l'avantage de se semer sur une longue période. Cette variété peut être cultivée en pot, ou jardinière, dans du terreau enrichi en argile. Variété à croissance rapide, qui de plus, possède une bonne résistance aux maladies et parasites.

L'étude menée au niveau expérimentale sur l'effet combiné de la bentonite et de la salinité, nous a permis de relever les points essentiels suivants :

Une réduction de la teneur relative en eau (TRE en %). cette réduction est corrigée en cas d'ajout de bentonite à la contrainte saline.

Il existe une relation inverse entre le teneur relative en eau et le déficit hydrique. La plante qui conserve plus de l'eau dans ses tissus est celle qui connaît la plus forte diminution de l'état de déficit hydrique et vice versa.

L'accroissement de la salinité aboutit à une baisse de la TRE et cause des changements biochimiques grâce à l'ajustement osmotique. (Khan et *al.*, 2000)

Les plantes accumulent dans les cellules des ions ou des solutés, ce qui diminue le potentiel hydrique de ces cellules et limite les pertes en eau et permet l'absorption de l'eau de l'environnement (Kumara et al, 2003 cité par Messedi et *al.*, 2006). Parmi ces solutés, la proline s'accumulant à l'état libre dans le cytosol est reconnue comme étant un osmolyte impliqué dans ces réajustements osmotiques (Thiery et *al.*, 2004). Et permet de neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation du sel dans les vacuoles (Tsugane et *al.*, 1999).

Les facteurs influent sur l'accumulation de la proline: l'inhibition de l'oxydation due à un effet mitochondrial, et à la réduction du taux de translocation de l'acide aminé à travers le phloème (Carceller, 1995).

La proline s'accumule dans les feuilles, les tiges et les racines et cet osmolyte s'accumule 2 à 3 fois plus dans le cytoplasme que dans la vacuole (Aubert et *al.*, 1999 cité par Parida et Das, 2005).

La proline marqueur biochimique de la résistance ou de la sensibilité des plantes aux stress abiotiques, (Hadjad et *al.*, 2010)

L'augmentation de proline est inversement proportionnelle à la teneur en eau dans les feuilles (Belkhodja, 2004).

Et parallèlement a cette augmentation de la teneur en proline sous l'effet de stress, une baisse dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (chlorophylles a et b).

Un stress hydrique va réduire la conductance stomatique pour limiter la perte d'eau. Cette régulation des échanges gazeux provoque une baisse de la disponibilité en CO<sub>2</sub> qui devient un élément limitant pour la photosynthèse.

La concentration d'ions minéraux est influencée par la concentration en sel à laquelle est soumise la plante.

Une augmentation de la concentration en sodium du cytoplasme, qui s'affecte fortement la nutrition minérale de la plante.

La bentonite entraîne une légère augmentation du potassium dans la plante. Et une absorption du cation Ca<sup>2+</sup>, avec une constatation que les teneurs en Ca<sup>2+</sup> sont plus faibles concentration par rapport les deux autres ions. Une compétition entre Na<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup> et K<sup>+</sup>. Ceci s'explique par la nature de la bentonite utilisée.

Un rapport K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> élevé est un des caractères très souvent considérés comme déterminant la tolérance à la salinité en conditions arides (Dingkuhn et *al.*, 1992).

Une préférence pour K<sup>+</sup> dans des conditions de concentrations élevées de sel serait un paramètre utile et un bon critère de sélection pour la tolérance à la salinité (Wolf et *al.*, 1991 ; Cuartero et *al.*, 1992).

En général, Le ratio  $K^+/Na^+$  de l'accumulation dans les racines et les feuilles diminue avec la salinité, et a la cause de la richesse de la bentonite en  $Ca^{2+}$ , qui favorise l'absorption de l'élément de  $K^+$ , le ratio est soumis une variation important.

Le calcium ( $Ca^{+2}$ ) réduit l'absorption du sodium ( $Na^+$ ) dans le milieu et par voie de conséquence favorise la sélectivité  $K^+/Na^+$  au niveau du plasmalemme.

Ce dernier réduit l'envahissement des plantes par le sodium. Donc le maintient de la sélectivité entre  $K^+$  et  $Na^+$  dans les racines nécessite la présence de  $Ca^{++}$  (Chadli, 2007).

Enfin, il ressort de notre étude que les doses de 07% de bentonite appliquées et combinées, aux concentrations salines nous paraissent les moins contraignantes ; qui être plus intéressant sur le plan de tolérance à la salinité avec les différents critères de résistance qu'il a extériorisé dont les caractères adaptatifs suivants :

une TRE élevée est stable en condition de stress et une accumulation important de proline.

Les résultats auxquels nous nous sommes parvenu demeurent partiels mais contribuent forcément à l'enrichissement des travaux visant à sélectionner un matériel végétal à capacité de tolérance au stress salin plus prononcé.

# Références bibliographiques

- Achour S. et Youcef L., 2003.** Elimination du cadmium par adsorption sur bentonite sodiques et calciques, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 02, Juin 2003, pp. 68-81.
- Ait Belaid M., 1994.** Les systèmes d'information pour l'environnement : Développement et formation. Géo observateur 5 (1994) 61-9.
- Ait Hamadouche N., Aoumeur H., Kharoubi O., Kazouz H., Biteur N., Slimani M., Aoues AEK., 2007.** Tolérance et accumulation de l'acétate de plomb par le radis (*Raphanus sativus L*) : vers de nouvelles méthodes de bio-dépollution.p 1-2. Laboratoire de Biochimie Appliquée.
- Agassi M., Shainberg I and Morni J., 1981.** Effet of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. Soil sci. Soc. Am. j. 45, pp: 848- 851.
- Agastian P., Kingsley S.J. and Vivekanandan M., 2000.** Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. Photosynthetica 38, 287-290.
- Aktas H., Abak K. and Cakmak I., 2006.** Genotypic variation in the response of pepper to salinity. Sci. Hortic. 110, 260-266.
- Alberte R .S., Thomber J.P. and Fiscus E.L., 1977.** Water stress effects on the content and organization of chlorophyll in mesophyll and bundle sheath chloroplasts of maize. Plant Physiol. 59, 351-353.
- Albacete A., Ghanem M.E., Martinez-Andujar C., Acosta M., Sanchez-Bravo, J.and Martinez V., 2008.** Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinised tomato (*Solanum lycopersicum L.*) plants. J Exp Botany 59, 4119-4131.
- Alem C. et Amri A., 2005.** Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. Reviews in Biology and Biotechnology, Vol. 4, No. 1: 20-31.
- Ali Dib T., Monneveux P. et Araus J.L., 1992.** Adaptation à la sécheresse et notion d'ideotype chez le Blé dur II. Caractères physiologiques d'adaptation. Agronomie 12 : 381-393.
- Arbaoui M., Benkhelifa M. et Belkhodja M., 2000.** Réponses physiologiques de quelques variétés de blé dur à la salinité au stade juvénile. CIHEAM - Option méditerranéenne. pp.267-270.
- Ashraf M., 1994.** Breeding for salinity tolerance in plants. Crit. Rev. Plant Sci., 13: 17-42.
- Ashraf M. and McNeilly T., 2004.**Salinity tolerance in Brassica oil seeds. Reviews in Plant Sciences, 23,2,157174.
- Ashraf M. and Foolad M. R., 2007.** Role of glycine betaine and protein in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany. 59. pp 206-216.
- Ashraf M. and Foolad M.R., 2005.** Pre-sowing seed treatment-a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. Advances in Agronomy, 88: 223-271.
- Aubert G., 1983.** Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou sals sodiques. Cash. ORSTOM.ser. ped. Vol xxx n° 1, pp = 73-78.

- Aubert S., Assard N., Boutin J.P., Frenot Y. and Dorne A.J., 1999.** Carbon metabolism in the subantarctic Kerguelen cabbage *Pringlea antiscorbutica* R. Br.: environmental controls over carbohydrates and proline contents and relation to phenology. *Plant Cell Environ* 22:243-254.
- Awada S., Campbell W.F., Dudley L.M., Jurinak J.J. and Khan M.A., 1995.** Interactive effects of sodium chloride, sodium sulphate, calcium sulphate and calcium chloride on snapbean growth, photosynthesis, and ion uptake. *J. PLANT. NUTR.* 18(5):889-900.
- Bachir Bouiadjra M.E., 2010.** Action combinée de la bentonite et la salinité sur le bilan minéral de la fève *Vicia faba* L. Thèse Magister. Université d'Oran Es senia.
- Barrs H.D. and Weatherley P.E., 1968.** A reexamination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.* 15, 413-428.
- Belfakih M., Ibriz M., Zouahri A. et Hilali S., 2013.** Effet de la salinité sur la croissance des bananier et leur nutrition minérale au Maroc. *Journal of Applied Biosciences* 63: 4689 - 4702. ISSN 1997-5902.
- Belhassen E., Lamaze T., Tusch D., Sarda X., Grignon C., Depigny-This D. et Monneveux P., 1994.** Résistance des plantes à la sécheresse : mécanismes physiologiques. Le sélectionneur Français. Vol. 45, pp. 75-85.
- Belkhodja M., Zidane Ouiza D., Bissati S. et Hadjadj S., 2010.** Effet du Stress Salin sur l'accumulation de Proline Chez Deux Espèces d'*Atriplex Halimus* L. et *Atriplex Canescens*. (Pursh) Nutt, *EuroJournals Publishing* Vol.41 No.2 (2010), pp.249-260.
- Belkhodja M. et Ait-Saadi M., 1992.** Action de la salinité sur les teneurs en proline des organes juveniles de trois lignées de levée (*Vicia faba* L.). *Acta bot. GaUica*, 1993, 140 (5), 473-478.
- Belkhodja M. et Bidai Y., 2007.** Analyse de la proline pour l'étude de la résistance d'une halophyte *Atriplex halimus* L. à la salinité. Laboratoire de Physiologie Végétale, Faculté des Sciences, Université d'Oran - Algérie. 8 pp.
- Belkhodja M. et Benkabilia M., 2000-** Proline response of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, Vol. 78, No. 1: 185-195.
- Belkhodja M. et Bidai Y., 2004.** Réponse de la germination des graines d'*Atriplex halimus* L. sous stress salin. *Revue Sécheresse*, N°4, vol.15,331-335.
- Bellinger Y., Bensaoud A. and Larher F., 1991.** Physiological significance of proline accumulation, a trait of use to breeding for stress tolerance. Colloque Physiology-Breeding of winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments, Montpellier (France). *Les colloques* .55. (éd). Inra. Paris.
- Benlaribi M., Monneveux P. et Grignac P., 1990.** Étude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). *Agronomie* 10, 305-322.
- Ben Azouz Ahmed k., 2012.** Relations entre propriétés rhéologiques et structure microscopique de dispersions de particules d'argile dans des solutions de polymères. Thèse Doctorat de l'université de strasbourg.
- Benaceur M., Rahmoun C., Sdiri H., Medahi M. et Selmi M., 2001.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production de grains de blé. *Secheresse*, 12 (3): 167-174.

**Bengston C., Klockare B., Klockare R., Larsson S. and Sundquist C., 1978.** The after effect of water stress on chlorophyll formation during greening and the level of abscisic acid and proline in dark grown wheat seedlings. *Plant Physiol.*, 43, pp. 205-212.

**Ben Khaled L., Morte Gómez A., Honrubia M. et Oihabi A., 2003.** Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par *Rhizobium*. Institut National de la Recherche Agronomique, Vol. 23 : 553-560.

**Benkhelifa M., 2007.** Influence des conditions salines sur les propriétés physiques des mélanges sable-bentonite. – Conséquences sur le comportement écophysio-logique de la tomate (*Lycopersicum esculentum Mill*). Thèse doctorat INA El Harrach Alger p138-142.

**Benkhelifa M. and Daoud Y., 1998.** Influence of bentonite on the physical properties of a sandy soil. *Ann. INA-El Harrach*, 19: 18-29.

**Ben Nacer M., Cheikh-M'hamed H., Maalem S. et Rahmoune C., 2005.** Les indicateurs précoces de la tolérance à la salinité 1er Colloque Euroméditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 Novembre 2005.

**Bergman I. and Loxley R., 1970.** New spectrophotometric method for the determination of proline in tissue hydrolysates. *Analytical Chemistry*, Vol. 42, No. 7: 702-706.

**Bernard B., 1997.** Dictionnaire des plantes et champignons, édition (ESTEM) p679.

**Berthomieu P., Conéjéro G., Nublat A. and Brackenbury W.J., 2003.** Functional analysis of AtHKT1 in *Arabidopsis* shows that Na<sup>+</sup> recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *EMBO J* 22: 2004-2014.

**Bhardwaj R. and Singhal G.S., 1981.** Effect of water stress on photochemical activity of chloroplasts during greening of etiolated barley seedlings. *Plant Cell Physiol.* 22: 155-162.

**Bizid E., Zid E. et Grignon C., 1988.** Tolérance à NaCl et sélectivité K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> chez les triticales. *Agronomie*, vol 8 (1988), pp 23-27.

**Blaid N., 2010.** Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques. Thèse Doctorat, Université de Sfax, Tunisie.

**Bois G., 2005.** Écophysio-logie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique, Thèse doctorat en Sciences Forestières, Université Laval, QUÉBEC.

**Bolt G.H., 1978.** Transport and accumulation of soluble soil components. In 'Developments in soil science'. (Eds GH Bolt, MGM Bruggenwert) pp. 126-140. (Elsevier Scientific Publishing Co.: Amsterdam).

**Bouhadjera K., 2005.** contribution a l'étude chimique et biologique de deux plantes médicinales sahariennes *Oudneya africana* R.Br. et *Aristida pungens* L. Thèse Doctorat. Université abou bekr belkaid Telemcen.

**Bourbigot S., Devaux E. and Flambard X., 2002.** Flammability of polyamide-6/clay hybrid nanocomposite textiles", *Polymer Degradation & Stability*, 75 397- 402.

- Bouteyre G. et Loyer J., 1992.** Sols salés, eaux saumâtres, des régions arides tropicales et méditerranéennes, ACTIQUES 10R8TOM éditions. 1992, p68-80.
- Bouزيد S., 2010.** Étude de l'effet de la salinité et de la présence du molybdène sur le comportement écophysologique de deux variétés de plantes de l'espèce *Phaseolus vulgaris* L. Université Mentouri Constantine, Thèse de doctorat.
- Brady N.C. and Weil R.R., 2002.** The nature and properties of soils. 13th edn. Prentice Hall, Upper saddle river, NJ, USA.
- Brugnoli E. and Björkman O., 1992.** Growth of cotton under continuous salinity stress : Influence on allocation pattern, stomatal and non-stomatal components of photosynthesis and dissipation of excess light energy. *Planta*, 187 : 335-347.
- Bruneton J., 1993.** Pharmacognosie Phytochimie Plantes médicinales. pp 41-54. 2° édition, Lavoisier, Paris.
- Caillère S., Hénin S. and Rautureau M., 1982.** Minéralogie des argiles. Masson, Tomes 1 et 2, 184p et 189p. Paris (1982).
- Camille D., 2009.** Le radis noir, édition Filière des plantes médicinales biologiques du Québec. P24.
- Carceller J., 1995.** Proline and the export of N. compounds from senescing leaves of maize under water stress. INRA, interdrought, I - 5.
- Cerda A., Pardines J., Botella M.A. and Martinez V., 1995.** Effect of K on growth, water relations and the inorganic and organic salute contents for two maize cultivars grown under saline conditions. *J. Plant Nutr.*, 18, 839-852.
- Chadli R. et Belkhodja M., 2007.** Réponses Minérales Chez la Fève (*Vicia faba* L.) au stress salin. European Journal of Scientific Research Vol.18. No.4, pp. 645 - 654
- Chalbi N et Demarly Y, 1991.** Amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Edition john libbey eurotext.p183.
- Cheikh m'hame H., 2008.** Évaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d'orge (*hordium vulgare* l.) cultivées en tunisie: approche physiologique.
- Cherbuy B., 1991.** Les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique. Cemagraf, école. Nat. Renne, 170p.
- Cheverry C., 1995.** Plant behaviour in saline environnement. Action eau N° 4, Séance spécialisée du 22 mars 1995; Ed. Acad. agro, Paris, France, 49 pages.
- Cheverry C., 1995.** Comportement des plantes en milieu salé compte rendu de l'acad d'agric. De France. Action n° 04. Revu. Bimestrielle. Vol = 81 (2). Paris, pp = 42-46.
- Cheverry C., 1972.** Exemple d'application des travaux de l'U.S.S.L (1963 - 1968) sur l'alcalinisation des sols soumis à l'action bicarbonatée. Cah. ORSTOM. Sér. pédo. 10 (2), pp : 193- 203.
- Christoffers t., 1990.** Identification de Salinisation, d'Alcalinisation et de Sodisation des terres a l'office de Niger, université de wageningen, Niger.

- Churchman G.J., Skjemstad J.O. and Oades J.M., 1993.** Influence of clay minerals and organic matter on effects of sodicity on soils. *Australian Journal of Soil Research* 31: 779-800.
- Claud G., Malher C., Claud Remy J., Berthelm J. et Louis Morel j., 2005.** Sol et environnement. Dunod . Paris, pp= 609-625.
- Claussen M., Luthen H., Blatt M. and Bottger M., 1997.** Auxin induced growth and its linkage to potassium channels. *Planta* 201:227-234.
- Collin V.C., Eymery F., Genty B., Rey P. and Havaux M., 2008.** Vitamin E is essential for the tolerance of *Arabidopsis thaliana* to metal-induced oxidative stress." *Plant, Cell and Environment* 31(2):244-257.
- Condom N., 2000.** Analyse et modélisation couplée des processus hydro-géochimiques de la salinisation des sols. Application aux sols rizicoles irrigués de l'Office du Niger (Mali). Thèse de doctorat, école nationale supérieure agronomique de Montpellier.
- Cuartero J. R., Perez-Sempere J. I., Gomez V. en Otal J., 1992.** El empleo de la grasa by-pass en la alimentación de la oveja Manchega durante el ordeño. *Investigación Agraria en Castilla-La Mancha, Area de Producción Animal n°4*, 13 p.
- Daie J., 1988.** Mechanisms of drought induced alteration in assimilate partitioning and transport in crops. *Critical Reviews in Plant science*, 7 : 117-137.
- Dagnelie P., 1999.** Statistique théorique et appliquée. Tome 2. Inférence statistique à une et à deux dimensions. Bruxelles. Université de Boeck et Larcier. 659PP.
- Daoud V., 1993.** Contribution à l'étude des sols des plaines du Chelif. Thèse de Doctorat d'état, INA Alger ,233p.
- Daoud Y. et Halitim A., 1994.** Irrigation et Salinisation au Sahara Algérien. *Sécheresse*. 3 (5), pp : 151- 160.
- D.A.T., 2001.** Guide de fertilisation des cultures, Direction de l'aménagement des terres, Brubswick Canada.
- Dejou J., 1987.** La surface spécifique des argiles, sa mesure, relation avec la CEC et son importance agronomique. In : *La capacité d'échange cationique et la fertilisation des sols*. Amyet Y. ed., 72-83.
- Denden M., Bettaieb T., Alef Salhi et Mathlouthi M., 2005.** Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. *TROPICULTURA*, 2005, 23, 4,p 220-225
- D.G.M, 2008.** Bilan des activités minières année -2007- Volume I. Direction Générale des Mines, ministère de l'énergie et des mines. Algérie.
- Dingkuhn M., De Datta S.K, Javellana C., Pamplona R. and Schnier H F., 1992.** Effect of Late Season N Fertilization on Photosynthesis and Yield of Transplanted and Direct-Seeded Tropical Flooded Rice. I. Growth Dynamics. *Field Crops Research* 28:223-234.
- Djili K., 2000.** Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Thèse doctorat. INA, Alger, 243 p.

- Djili K. et Daoud Y., 1999.** Distribution latérale et verticale de l'ESP des sols du Nord de l'Algérie compte rendu du séminaire national sur la salinisation des terres agricoles. CRSTRA. Chélif. Le 01 02 juin, n° 99, pp : 25- 44.
- Djili K. and Daoud Y., 2000.** Influence of rainfall on the distribution of limestone and exchangeable sodium percentage in soils of northern Algeria. *Drought*, 11: 37-43.
- Driouich A., Ouhsine M., Ouassou A. et Bengueddour R., 2001.** Effet du NaCl sur l'activité diphosphénol pyruvate carboxylase (PEPC) foliaire et son rôle sur la synthèse du malate et de la proline chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). *Science Letters*, Vol. 3, No. 3: 1-7.
- Durand J.H., 1983.** Les sols Irrigables. Etude pédologique. Presses Universitaire de France. Agence de Coopération Culturelle et Technique. 338 p
- El Jaafari S., 1993.** Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Doctorat-Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique, 214 p.
- El Djaafari S., 2000.** Durum wheat breeding for abiotic stresses resistance: Defining physiological traits and criteria. *Option Mediterranean*, 40 : 251- 256.
- El-Mekkaoui M., 1990.** Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé dur (*T. durum* Desf) et l'orge (*H. vulgare*) : recherches de tests précoces de sélection. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Montpellier. p 191.
- El Mekkaoui M., 1992.** "Étude des caractères physiologiques d'adaptation à la salinité chez trois céréales : le blé dur (*T. durum* Desf.), l'orge (*H. vulgar* L.) et le triticale (*T. durum* x *secale* céréale)". Thèse de Doctorat ès-Sciences Agronomiques, I.A.V. Hassan II, Rabat.
- El Midaoui M., Benbella M., Aït Houssa A., Ibriz M. et Talouizte A., 2007.** Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.). *Revue HTE* N° 136, pp.29-34.
- ENOF., 1997.** Rapport d'analyse de la bentonite de M'Zila, Mostaghanem, Laboratoire Enof de Mostaghanem, Entreprise Nationale des produits miniers non-Ferreux et des substances utiles filiale du groupe public BENTAL SPA.
- E.P.S., 2005.** Méthode d'essai biologique : Essai de mesure de la levée et de la croissance de plantes terrestres exposées à des contaminants dans le sol, (Environnement Protection Séries) centre de technologie environnementale Canada. ISBN 0-662-79907-0.
- Essington M.E., 1994.** Adsorption of aniline and toluidines on montmorillonite, *Soil Sciences*, 3, 181-188.
- FAO., 2003.** Profil fourrager ALGERIE, FAO Rome. 30p.
- FAO., 2005.** Utilisation des engrais par culture en Algérie. FAO Rome, 61 p.
- FAO., 1989.** Evaluation des Terres pour l'Agriculture Irriguée. Livre. ISBN : 92-5-202243-0. série: FAO Soils Bulletin
- Flowers T.J., 2004.** Improving crop salt tolerance. *journal of experimental botany* 55: 307-319
- Flowers T.J, Koyama M.L., Flowers S.A., Sudhakar C., Singh K.P. and Yeo A.R., 2000.** QTL: their place in engineering tolerance of rice to salinity. *J Exp Bot* 51: 99-106

- Flowers T.J. and Yeo A.R., 1995.** Breeding for salinity resistance in crop plants-where next? *Australian Journal of Plant Physiology* 22: 875-884
- Folk R.L., 1954.** The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology* 62:344-359.
- Forbes V.E, Palmqvist L. and Bach., 2006.** The use and misuse of biomarkers in ecotoxicology. *Environ Toxicol Chem* 25: 2772-280.
- Forges M., 1972.** Irrigation et salinité, 1<sup>er</sup> E.N.S.H. Versailles Options méditerranéennes p40-45.
- Gaucher G. et Burdins S., 1974.** Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. ed. p.u.f. paris, 231p
- Geves., 1994.** Description et classification des variétés de Radis, Groupe d'Etude et de contrôle des Variétés et des Semences, Edité par GEVES France. P126.
- Ghassemi F., Jakeman A.J. and Nix H.A., 1995.** Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies. Center for resource and environmental studies, The Australian National University, Canberra, Australia. 125 pages.
- Gorham J., 1993.** Stress tolerance and mechanisms behind tolerance in barley. In: *Agronomical and physiological characterization of different barley genotypes to salt stress*. Settat 1993, meeting.
- Graham J., Gray M.N., Sun B.C. and Dixon D.A., 1986.** Strength and volume change characteristics of a sand-bentonite buffer. Proc. 2nd Int. Conf Radioactive Waste Management, Winnipeg, Man., 188-194.
- Greenway H. et Munns R., 1980.** Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31, p. 149-190.
- Grennan A.K., 2006.** High Impact Abiotic Stress in Rice. An "Omic" Approach; *Plant Physiology*, April 2006, Vol. 140, pp. 1139-1141
- Grubben G. et Denton O., 2004.** Ressources végétales de l'Afrique tropicale 2(légumes), Fondation prota, imp pensen and looijen. pays-bas. isbn : 90-5782-149-4.
- Gupta R.K. et Abrol I.P., 1990.** Salt-affected soils: their reclamation and management for crop production. *Adv. in Soil Sci.* 11, 223-288.
- Hachicha M., M'hiri A. Bouksila F., et Bacha Hamba I., 1996.** Variabilité et répartition de l'argile dans le périmètre de KALAAT LANDELOUS (TUNISIE) ; Applications à l'évaluation des risques de salinité. *Etude et gestion des sols.* 4,1.1997pp 53-66.
- Haddad S. and Coudret A., 1991.** Effets de l'adjonction de KCl ou de CaCl<sub>2</sub> sur la tolérance au NaCl chez deux cultivars de triticale (Clercal et Beagle). *Canadian Journal of Botany* 69, 2113-2121.
- Hadjad S., Djerroudi O. et Bissati S., 2010.** Effet de la salinité sur l'accumulation de la proline foliaire d'*atriplex halimus* l. et d'*atriplex canescens* (pursh) nutt aux stades juveniles, *Annales des Sciences et Technologie*, Vol. 2, N° 2,2010
- Hajji M., 1980.** La responsabilité de la racine dans la sensibilité du Laurier-rose au chlorure de sodium. *Physiol. Vég.* 18 (3), p. 505-515.

- Halilat M. et Tessier D., 2000.** Effet de la salinité et la sodicité sur le comportement hydrique de mélanges. Institut d'Agronomie Saharienne. Université d'Ouargla, Algérie.
- Halilat M.T.et Tessier D., 2006.** Amélioration de la rétention en eau de matériau sableux par ajout de bentonite. Cahiers Agricultures. Volume 15, Numéro 4, Juillet-Août 2006.
- Halitim A., Robert M., Tessier D. et Prost R., 1984.** Influence des cations échangeables ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ) et la concentration saline sur le comportement physique (rétention en eau, conductivité hydraulique de la mont morillonite agronomie. 4 (5), pp : 451 - 459.
- Halitim A., 1973.** Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie. Thèse Doc. U.E.R des sciences biologiques.
- Halitim A., 1985.** Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes plaines steppiques de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la génèse et le comportement des sols. Thèse doctorat, Uni .Rennes, 384 p.
- Halitim A.et Robert M., 1987.** Interaction du gypse avec les autres constituants du sol : analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et études expérimentales. In Fedoroff et all. (éd) : soil micromorphology, AFES.pp 179-186.
- Hall J.C, Sytsma K.J. and Iltis H.H., 2002.** Phylogeny of Capparaceae and Brassicaceae based on chloroplast sequence data. Am. J. Bot. 89: 1826-1842.
- Hamdi Aissa B.and Fedoroff N., 1996.** Macro and micromorphology of gypsum in desertic soils (Northern Sahara. Algérie). Proceeding of the international symposium on soils with gypsum. Lleida, Catalonia, Spain.
- Hamdy A., Lasram M. et Lacirgnoda C., 1995.** Les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne compte rendu. Acad. D'agri. De France action (1).vol 81 (2). Paris. Séance spécialisée du 22 Mars 95, pp : 47- 60.
- Hamrouni L., Hanana M., Abdelly C.et Ghorbel A., 2011.** Exclusion du chlorure et inclusion du sodium : deux mécanismes concomitants de tolérance à la salinité chez la vigne sauvage *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris* (var. 'Séjène), *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2011 15(3), 387-400.
- Hamza M., 1977.** Action de différents régimes d'apport du chlorure de sodium sur la physiologie de deux légumineuses : *Phaseolus vulgaris* (sensible) et *Hedysarum carnosum* (tolérante). Relations hydriques et relations ioniques. Thèse d'État. Paris : Université de Paris VII, 252 p.
- Handa S., Handa A.K., Hasegawa P.M. et Bressan R.A., 1986.** Proline accumulation and the adaptation of the cultured plant cells to water stress ; *Plant Physiol.*, 80 , 938-945.
- Haouala F., Ferjani H.et Ben El Hadj S., 2007.** Effet de la salinité sur la répartition des cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$ ) et du chlore ( $\text{Cl}^-$ ) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 11(3).235-244.
- Hartani T., Douaoui A., Kuper M.et Hassani F., 2007.** Stratégies de gestion individuelle de la salinité dans le périmètre irrigué du Bas Cheliff cas du périmètre d'Ouarizane. Edition Cirad, Montpellier, France.
- Hassani A., Dellal A., Belkhodja M.et Kaid-Harche M., 2008 ;** Effet de la Salinite Sur L'eau et Certains Osmolytes Chez L'orge (*Hordeum Vulgare*). *EuroJournals Publishing Vol.23 No.1 pp.61-69*

- Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K. and Bohnert H.J., 2000.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Biology and Molecular Biology* 51:463-499.
- Heller R., Esnault R. et Lance C., 2004.** Physiologie végétale. Tome 1 nutrition. Paris Dunod, 2004,323p, ISBN : 2-10-048710-8.
- Hernandez J.A., Ferrer M.A., Jimenez A., Barcelo A.R. and Sevilla F., 2001.** Antioxydant systems and  $O_2^-/H_2O_2$  production in the apoplast of pea leaves. It's relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins. *Plant Physiol* 127: 817-831
- Hiouani F. et Bensaïd R., 2009.** Effet de la salinite sur la retention en eau des sols gypseux de la région de Ain benoui (biskra), Université Mohamed Khider, Courrier du Savoir - N°09, pp.85-89
- Hoogemoed W.B., 1994.** Methods of managing problems in crusting and hardsetting soils. Dans : *Second international symposium on sealing, crusting, hardsetting soils : productivity and conservation*, Queensland, Australia.
- Hsiao T.C. and Xu L.K., 2000.** Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany* 51: 1595 - 1616.
- Hubac C. et Vieira Da Silva J., 1980.** Indicateurs métaboliques de contraintes mésologiques. *Physiol. Vég.* , 18, pp. 45-53.
- Huber W., 1974.** Influence of NaCl and abscisic acid treatment on proline metabolism and some further enzymes of amino acid metabolism in seedlings of *Pennisetum thyoides*. *Planta*, Vol. 121: 379-394.
- Humbert H., 1982.** Flore de Madagascar et des Comores : *Crucifères*, Muséum national d'histoire naturelle, 1982.
- Info mine., 2007.** Bentonite Clays and Bentonite Powders Market Research in the CIS, Association of independent advisers and experts in the field of mineral resources, metallurgy and chemical industry, *Research group. Moscow.*
- I.N.S.I.D, 2008.** Les sols salins en algerie, Institut national des sols, de l'irrigation et du drainage, ministère de l'agriculture et du développement rural.
- I.N.S.I.D., 2005.** Problematique de la salinite dans le perimetre irrigue du bas cheliff : besoins en formation, en recherche-developpement et en transferts de technologies. Institut national des sols, de l'irrigation et du drainage.
- Irigoyen J.J., Emerich D.W. and Sanchez-Diaz M., 1992.** Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants, *Physiol. Plant.* 84: 55-60
- I.T.C.M.I., 2010.** La culture de RADIS, Fiche techniques valorisée des cultures maraichères et Industrielles. Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles, p05.Algerie.
- Jia W., Wang H., Zhang C.H. and Zhang J., 2002.** Salt-stress-induced ABA accumulation is more sensitively triggered in roots than in shoots. *J Exp Bot* 53: 2201-2206
- Kameli A. and Losel D.M., 1996.** Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. *New Phytol.*, 132, 57-62.

- Kaur N. and Gupta A.K., 2005.** Signal transduction pathways and abiotic stress in plants. *Current Science*, Vol.88, N° 11, pp.1771-1779.
- Kauss H., 1977.** Biochemistry of regulation. *In* NORTHCOTE (Ed): *International Review of Biochemistry*, II, pp. 119-139.
- Keren R., 2000.** Salinity. *In*: Sumner M.E. (Ed). *Handbook of Soil Science*. CRC Press, NY, USA, pp G3-G25.
- Khan M.A. and Duke N.C., 2001.** Halophytes - A resource for the future. *Wetlands Ecolo. Manag.* 6: 455-456.
- Khan M.A., Shirazi M.U., Ali Khan M., Mujtaba S.M., Islam E., Mumtaz S., Shereen A. and Yasin Ashraf M., 2009.** Role of proline, K/Na ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Bot.*, 41(2): 633-638.
- Khan A.M., Irwin A., Ungar I.A. and Showalter A.M., 2000.** Effects of Salinity on Growth, Water Relations and Ion Accumulation of the Subtropical Perennial Halophyte, *Atriplex griæthii* var. stocksii. *Ann. Bot.* 85 (2000) 225-32.
- Kinet J.M., Benrebaha F., Bouzid S., Lailhacar S. et Dutuit P., 1998.** Le réseau *Atriplex*. Allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions arides et semi arides. *Cahiers agricultures* 7 (1998) 505-9.
- Kozlowski G., 2009.** Rave sauvage, *Brassica rapa* subsp. *campestris* (L.) Clapham en Suisse. Université de Neuchâtel Suisse, Laboratoire de botanique évolutive.
- Lachâal M., Abdelly C., Seleimi N., Hajji M., Soltani A. et Grignon C., 1997.** Recherche de critères physiologiques pour le tri de plantes tolérantes au sel. 6<sup>ème</sup> journée scientifique du réseau des biotechnologies végétales. AUPELF-UREF, pp: 283-289.
- Lacharme M., 2001.** Le contrôle de la salinité dans les rizières, Coopération Française du Développement Rural et de l'Environnement, Juin 2001.
- Lacroix M., 2004.** Comment diagnostiquer les problèmes phytosanitaires des petits fruits au champ. Laboratoire de diagnostic en phytoprotection, MAPAQ. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Canada.
- Lafon J.P., Tharaud Prayer C. et Levy G., 1996.** Boilologie des plantes cultivées, T1, Organisation/Physiologie de la nutrition. 2<sup>ème</sup> Edition, Editions Thechniques et Documentations Lavoisier, Paris., 233 P.
- Larher F., Quemener B. and Hervochon P., 1991.** Osmotic adjustment during the vegetative growth period of *Cicer arietinum* as related to NaCl salinity. *CR Acad Sci Paris* 312(III): 55-61.
- Laribi S., Feureau J.M., Grossiord J.L. and Kbir-Ariguib N., 2005.** Comparative yield stress determination for pure and interstratified smectite clays," *Rheol. Acta* 44, 262-269 \_2005\_.
- Lawlor D.W., Fock H., 1978.** Photosynthesis, respiration, and carbon assimilation in water-stressed maize at two oxygen concentrations. *Journal of Experimental Botany* 29: 579-593.
- Lebrun J.P., 2001.** Introduction à la flore d'Afrique, édition Cirad Ibis Press p120.
- Le Dily F., Billard J.P., Boucaud J., 1991.** Polyamine levels in relation to growth and NaCl concentration in normal and habituated sugarbeet callus cultures. *Plant Cell Environment*, 14, 327-332.

- Lee G., Carrow R.N., Duncan R.R., Eiteman M.A. and Rieger M.W., 2008.** Synthesis of organic osmolytes and salt tolerance mechanisms in *Paspalum vaginatum*. *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 63: 19-27.
- Leport L., 1992.** Proline accumulation associated with environmental stresses and flowering in rape (*Brassica napus L.*). Doctoral thesis, *Rennes I, France* .
- Leport L., 1992.** Accumulation de proline associée aux contraintes environnementales et à la floraison chez le colza (*Brassica napus L.*). Thèse D'état. 156 p. Rennes, France.
- Lessani H. et Marschner H., 1978.** Relation between salt tolerance and long distance transport of sodium and chloride in various crop species. *Aust. J. Plant. Physiol.*, 5 : 27-37.
- Levitt J., 1980.** Responses of Plant to Environmental Stress Chilling, Freezing and High Temperature Stresses, 2 nd edn. Levitt, J. (ed.). Academic Press, New York, NY.
- Levy G.J., 2000.** Sodidity. In: Sumner M.E. (Ed). *Handbook of Soil Science*. CRC Press, NY,USA, pp G27-G62.
- Lichtenthaler H.K., 1987.** Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Method. Enzymol.*, 148: 350-380.
- Lichtenthaler H.K., 1996.** Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. *Journal of Plant Physiology* 148: 4-14.
- Mâalem S. and Rahmoune C., 2009.** Toxicity of the Salt and Pericarp Inhibition on the Germination of Some *Atriplex* Species. *American-Eurasian Journal of Toxicologic Sciences* 1 (2): 43-49.
- Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S. and Janardhan Reddy K., 2006.** Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. P41-99.
- M.A.D.R., 2006.** Note sur l'état du potentiel productif agricole, Ministère de l'agriculture et du développement rural, Algérie. p50.
- Maillard J., 2001.** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. Handicap International. Novembre 2001. 35p
- Marchal R., Barret J. et Maujeau A., 1995.** Relations entre les caractéristiques physico-chimiques d'une bentonite et son pouvoir d'adsorption, *Jour. Sci. de la Vigne et du Vin*, 29 (1), 27-42.
- Martin Prével P., Gagnard J. et Gautier P., 1984.** L'Analyse Végétale dans le Contrôle de l'Alimentation des Plantes Tempérées et Tropicales., Editions technique et documentation, Lavoisier, Paris., 810 P.
- Martinez J.P., Silva H., Ledent J.F. and Pinto M., 2007.** Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris L.*) *European journal of agronomy*. Jan., Vol.1,p. 30-38.
- Mashali A., Suarez D.L., Nabhan H. and Rabindra R., 2005.** Integrated management for sustainable use of salt-affected soils. Rome: FAO Soils Bulletin, now printing.

- Mazars C., Bourque C., Mithöfer A., Pugin A. and Ranjeva R., 2008.** Calcium homeostasis in plant cell nuclei. *New Phytologist* (2008) doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02680.x.
- McNeal B. and Coleman N.T., 1966.** Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity, *soil sci.Am.porc.*30 :38-312.
- M.E.D.A.D., 2007.** Le retrait-gonflement des argiles, Ministère de l'Ecologie du Développement et de l'Aménagement Durables. Imprimerie du pont de claix. France.
- Meloni D.A., Oliva M.A., Ruiz H.A. and Martinez C.A., 2001.** Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J.Plant Nutr.* 24, 599-612.
- Meloni D.A., M.R. Gulotta M.R, Martinez C.A. and Oliva M.A., 2004.** The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. *Braz.J.Plant.Physiol.*, Vol 16, N° 1, 8p.
- Messedi D., Slama I., Laabidi N., Ghnaya T., Savoure A., Soltani. and Abdelly C., 2006.** Effect of nitrogen deficiency, salinity and drought on proline metabolism in *Sesuvium portulacastrum*. *Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plants.* Pp.65-72.
- Messedi D., Abdelly C., 2004.** Physiologie de la tolérance au sel d'une halophyte de recouvrement: *Batis maritima*. *Revue des Régions Arides*, Tome 1, No spécial : 192-199.
- Michel V., Ahmed H. et Dutheil A., 2007.** La biofumigation, une méthode de lutte contre les maladies du sol. *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic.* Vol. 39 (2): 145-150, 2007
- Monneveux P., 1991.** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. In : *l'amélioration des plantes pour l'adaptation au milieu arides*. (éd). *Aupelf-Uref. J. Eurotxt.L.* Paris: 165 -186 p.
- Monneveux P.H et Nemmar M., 1986.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, 6 (6), pp. 583-590.
- Moujahid Y., 2007.** Physico-chimie, minéralogie et dynamique du phosphore et du potassium dans quelques sols marocains. Thèse de doctorat d'état, AGDAL, Rabat, (Maroc), 105p.
- Munns R., 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ* 25:239-250
- Munns R., Schachtman D.P. and Condon A.G., 1995.** The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 22:561-569
- Munns R, Termaat A., 1986.** Whole-plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 143-160
- 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.
- Munns R., 2002.** Comparative physiology of salt and water stress; *Plant, Cell and Environment* 25, 239-250
- Naidu R et Rengasamy P., 1993.** Ion interactions and constraints to plant nutrition in Australian sodic soils. *Australian Journal of Soil Research* 31: 801-819.

- Nana R., Tamini Z., Sawadogo M. et Some P.P., 2010.** Étude morphologique comparative de cinq variétés de gombo [*abelmoschus esculentus* (L.) moench] soumises à un stress hydrique. J. Sci. Vol. 10, N° 3 (2010) 28 - 38.
- Nimbalkar JD., Joshi GV., 1975.** Effect of increasing salinity on germination, growth and mineral metabolism of sugarcane var. co. 740. *J. Biol. Sci.* **18**, p. 55-63.
- Niu X., Rsessan R.A., Hasegawa P.M. and Pardo J.M., 1995.** Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*. 109 (3): 735- 742.
- Niu G., Rodriguez D.S. and Starman T., 2010.** Response of bedding plants to saline water irrigation. *Hort Science* 45 (4), 628-636.
- Nguyen S.T. et Paquin R., 1971.** Méthodes d'extraction et de purification des acides aminés libres et des protéines des tissus végétaux. *Journal of Chromatography*, Vol. 61: 349-351.
- Ober E.S. and Sharp R.E., 1994.** Proline accumulation in maize (*Zae Mays L.*) primary roots at low water potentials. I. Requirement for increased levels of abscisic acid. *Plant Physiol* 105: 981-987
- Qian Y.L., Wilhelm S.J., Marcum K.B., 2001.** Comparative responses of two Kentucky bluegrass cultivars to salinity stress. *Corp Science*, Vol. 41: 1895-1900.
- Paquin R., 1986.** Effet de l'humidité du sol sur la teneur de la proline libre et des sucres totaux de la luzerne enduree au froid et à la sécheresse. *Can. Journal Plant Science*, Vol. 66 : 95-101.
- Parida A.K. and Das A.B., 2005.** Salt tolerance and salinity effects on plants: A. Rev. Ecotoxicol. Environ. Safety, 60: 324-349.
- Parida A., Das A.B. and Das P., 2002.** NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera arviiflora*, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol.* 45, 28-36.
- Pringle C.M., White D.S., Rice C.P. et Tuchman M L., 1981.** The biological effects of chloride and sulfate with the special emphasis on the Laurentian Great Lakes, University of Michigan, Ann Arbor (Michigan), p. 1-51.
- Paumier S., 2006.** *Facteurs déterminant l'organisation et la rhéologie du système argile-eau pour des suspensions de smectites*", thèse de doctorat de l'université de Poitiers.
- Pesci P. and Beffagna A., 1984.** Inhibiting effect of fusaric acid on abscisic acid induced proline accumulation in barley leaves. *Plant Sci. Letters*, 37, pp. 7-12.
- Pourrat Y. et Dutuit P., 1994.** "Étude précoce des effets morphologiques et physiologiques du rapport sodium/calcium in vitro sur une population d'*Atriplex halimus*. Quel avenir pour l'amélioration des plantes ?" Ed. AUPELFUREF. John Libbey Eurotext, Paris, 283-295.
- Prasad K., Sharmila P., Kumar P.A. and Saradhi P.P., 2000.** Transformation of *Brassica juncea* (L.) Czern with bacterial cod A gene enhances its tolerance to salt stress. *Molecular Breed* 6: 489-499
- Rains D.W., 1972.** Salt transport by plants in relation to salinity. - *Annu. Rev. Plant Physiol.* **23**: 367- 388.

- Rajaskaran L.R., Aspinal D. and Paleg L.G., 2000.** Physiological mechanism of tolerance of *Lycopersicum* spp. Exposed to salt stress. *Canad. J.Plant. Sci.* 80/1, 151-152.
- Raju R.T., Jinno K. et Wada S.I., 1993.** Exchange process at the land surface for a range of space and time scales proceedings of an international symposium held at yokohama, Japon, 13-16 July 1993.
- Rahmoune C., Ben Naceur M., Cheikh-M'Hamed H. et Maalam S., 2008.** Les indicateurs précoces de tolérance à la salinité chez les blés durs. p.151. Biotech2008. X<sup>les</sup> Journées Scientifiques du réseau "Biotechnologies végétales / Amélioration des plantes et sécurité alimentaire" de l'Agence universitaire de la Francophonie. 30 juin-3 juillet 2008, Agrocampus Rennes. Rennes, France. 215 p.
- Ramade F., 2006.** Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité, DUNOD Paris, 2008. 737p. ISBN 978-2-10-053670-2.
- Reddy P.S. and Veeranjanyulu K., 1991.** Proline metabolism in senescing leaves of horsgram (*Macrotyloma uniflorum* Lam.). *J. Plant. Physiol.*, 137, pp. 381-383.
- Reguig Yssaad H.A., 2007.** Effet de la bentonite sur les sols sablaux de la région de Mostaganem, étude de comportement d'une association blé pois chiche These doctoral. INA d'EL Harrache Alger.
- Reguig Yssaad H.A., Nouri T. et Bessafi L., 2012.** Effet combiné du stress salin et de la bentonite sur les caractéristiques physiologiques et chimiques de la fève (*Vicia faba* L). 14-16 Nov 2012. *J. hydrocarb. mines. environ.res*, volume 3(2).
- Richards L.A., 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils *Agric. Handb . N° 60* vol 1. us
- Robert M., 1996.** Le sol : Interface dans l'environnement, Ressource pour le developpement. Masson, France, 241pp.
- Rodriguez H.G., Roberts J.K.M., Jordan W.R. and Drew M.C., 1997.** Growth, water relations, and accumulation of organic and inorganic solutes in roots of maize seedlings during salt stress. *Plant Physiology*, Vol. 113, No. 3: 881- 893.
- Romeroaranda R., Soria T. and Cuartero J., 2001.** Tomato plant water uptake and plant water relationship under saline growth conditions. *Plant Sci.*, 160: 265-272.
- Sally L. and David L., 2004.** Electrical conductivity spectra of smectites of as influenced by saturating cation and humidity. *Clay and minerals*, Vol.52, n° 4, 411-420.
- Schranz E.M., Lysak M.A. and Mitchell-Olds T., 2006.** *The ABC's of comparative genomics in the Brassicaceae: building blocks of crucifer genomes.* *Trends Plant Sci* 11: 535-542.
- Seghairi N., Koussa M. et Achour S., 2004.** effet de l'activation chimique de la bentonite sur l'adsorption de substances humiques en eaux de mineralisation variable, *Larhyss Journal*, n° 03, Juin 2004, pp.91-102
- Sehari N.H., 2009.** Etude de l'effet du stress salin (NaCl) sur le cmportement écophysologique d'une légumineuse cultivée (*Lens culinaris* L) en sol a bentonite. Thèse Magister. Université d'Oran Es senia.

- Servant J.M., 1970.** Etude expérimentale de l'influence des conditions salines sur la perméabilité des sols, conséquences pédologiques. *Sci. Du sol.*2, pp : 87- 103.
- Servant J., 1978.** La salinité dans le sol et des eaux. Caractérisation et problèmes d'irrigation, drainage. *Bull. BRGM. Section III (2)* pp.123-142.
- Servant J.M., 1973.** Le profil salin des sols, méthodes d'études et signification. Application aux sols halomorphes du midi de la France. *Ann. Agro.* 24.3, pp : 375 - 392.
- Servant J.M., 1975.** Etude pedologique des sols halomorphes. Thèse. Doc. Uni. Montpellier, 194p.
- Servant J.M., 1976.** Sur quelques aspects de la pédogénèse en milieu halomorphe : l'exemple des sols salés de la région méditerranéenne Française. *Ann. de l'INRA.vol. VI.n° 1*, pp : 225-245.
- Shabala S.N., Shabala S.I, Martynenko A.I, Babourina O. and Newman I.A., 1998.** Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na<sup>+</sup> accumulation and chlorophyll fluorescence of maizeleaves: a comparative survey and prospects for screening. *Aust. J. Plant Physiol.*, 25: 609-616.
- Shannon M.C., 1985.** Principles and strategies in breeding for higher salt tolerance. *Plant Soil*, 89:227-241.
- Shen B., Jensen R.G.and Bohnert HJ., 1997.** Increased resistance to oxidative stress in transgenic plants by targeting mannitol biosynthesis to chloroplasts. *Plant Physiol* 113: 1177-1183
- Sibole J.V., Cabot C., Poschenrieder C.and Barcelo J., 2003.** Effecient leaf ion partitioning, an overriding condition for abscisic acid-controlled stomatal and leaf growth responses to NaCl salinization in two legumes. *Journal of Experimental Botany* 54: 2111-2119
- Silva E.I.L.and Davies R.W., 1999.** The effects of simulated irrigation induced changes in salinity on metabolism of lotic biota. *Hydrobiologia*, 416: 193-202.
- Sigala F., FIES J.C. et Guennelon R., 1989.** Influence du sodium sur les propriétés physiques d'un sol aux niveaux textural et structural. *CIHEAM - Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens*, ISSN 0253-1542 num. 1 p. 159-168.
- Singh T.N., Paleg L.G. and Aspinall D., 1973.**Nitrogen metabolism and growth in barley plant during water stress. *Aust. J. Biol. Sci.*, 26, pp. 45-56.
- Skiredj A., 2000.** Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs. Publication des fiches techniques des cultures maraîchères, aromatiques et condimentaires.
- Slama F., 1986.** Effet du nitrate d'ammonium sur le degré de tolérance à une forte dose de NaCl de dix variétés de blé. Colloque sur les végétaux en milieu aride, Jerba (Tunisie), 8-10 septembre 1986. Tunis : Agence de coopération culturelle et technique, p. 460-473.
- Slama I., Messedi D., Ghnaya T.et Abdely C., 2004.** Effet du déficit hydrique sur la croissance et l'accumulation de la proline chez *Sesuvium portulacastrum*. *Revue des Régions Arides*, Tome 1, No. spécial : 234-241.
- So H.B, Aylmore L.A.G., 1993.** How do sodic soils behave? The effect of sodicity on soil physical behaviour. *Australian Journal of Soil Research* 31, 761-777.
- Spollen W.G., LeNoble M.E., Bernstein N.and Sharp R.E., 2000.** Abscisic acid accumulation maintains maize primary root elongation at low water potentials by restricting ethylen production. *Plant Physiol* 122: 967-976

- Stevens P.F., 2001.** onwards. Angiosperm Phylogeny Website. Version 12, July 2012 (www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/).
- Sumner M.E., 1993.** Gypsum and acid soils: the world science. *Advances in Agronomy*. 51, pp: 1-32.
- Szabolcs I., 1994.** Soils and salinisation. *In Handbook of Plant and Crop Stress*. Ed. M Pessarali. pp. 3-11. Marcel Dekker, New York.
- Szabolcs J., 1989.** Salt affected soils. CRP press. Boca Raton FL. USDA, 1954 Handbook n° 60. P160.
- Szabolcs L., 1986.** Impact of irrigation on soil and water salinity. *Adv. in Soil Science*, 4,191-218.
- Taji T., Seki M., Satou M., Sakurai T., Kobayashi M., Ishiyama K., Narusaka Y., Narusaka M., Zhu J.K. and Shinozaki K., 2004.** Comparative genomics in salt tolerance between *Arabidopsis* and *Arabidopsis*-related halophyte salt cress using *Arabidopsis* microarray. *Plant Physiology*, Vol. 135: 1697-1709.
- Tahri E.H, Belabed A. et Sadki K., 1997.** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, 1997-1998, n°21, pp. 81-87.
- Taibi K., 2009.** Comparative study of water, growth and mineral behaviors of two legumes *Vicia faba* L. and *Phaseolus vulgaris* L., to salinity stress. Magister Thesis, University of Oran, Algeria.
- Tal M. and Rosenthal I., 1979.** Salt tolerance in *Simmondsia chenensis* water balance and accumulation of chloride sodium and proline under low and high salinity. *Ann. Bot.*, 34, pp. 701-708.
- Taleisnik-Gertel E. and Tal M., 1986.** Potassium utilisation and fluxes in wild salt-tolerant relatives of the cultivated tomato. *Physiol. Plant.* 67, p. 415-420.
- Tessier D., 1975.** Recherches expérimentales sur l'organisation des particules. dans les argiles. Thèse d'Ingénieur, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, France. 230 pp.
- Tessier D., 1984.** Etude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux. Thèse de l'Université Paris VII, France. 361 pp.
- Thiery L., Leprince A.S., Lefebvre D., Ghars M.A., Debarbieux E. and Savoure A., 2004.** Phospholipase D is a negative regulator of proline biosynthesis in *Arabidopsis thaliana*. *J Biol Chem* 279: 14812-14818.
- Toujan M., 1979.** Aménagement hydroagricole dépendant du canal du Sahel, evolution des sols irrigués. Office de Niger 1979.
- Trinchant J.C., Boscari A., Spennato G., Van De Sype G. and Le Rudulier D., 2004.** Proline Betaine Accumulation and Metabolism in Alfalfa Plants under Sodium Chloride Stress. Exploring Its Compartmentalization in Nodules. *Plant Physiol.*, 135: 1583-1594.
- Troll W. and Lindesly J.A., 1955.** Photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem*, 215, (1955), pp. 655-660.
- Tsugane K., Kobayashi K., Niwa Y., Ohba Y., Wada K. and Kobayashi H., 1999.** A recessive *Arabidopsis* mutant that grows photoautotrophically under salt stress shows enhanced active oxygen detoxification. *Plant Cell* 11: 1195-1206.

**Tutin T.G., 1993.** Flora Europaea. 1-5 Volumes. 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge.

**UNIFA., 2005.** (Union des industries de la fertilisation) Le sol et ses constituants, organisation professionnelle française représentant les industries de la fertilisation. édition 2005.

**USDA., 1967.** Keys to soil Taxonomy, soil conservation service, united states department of agriculture, 306 p.

**USGS., 2005.** Bentonite statistics, in Kelly, T.D., and Matos, G.R., comps., Historical statistics for mineral and material commodities in the United States: U.S. Geological Survey Data Series 140, (Accessed March 27, 2007).

**U.S. Salinity Laboratory, (U.S.S.L) 1954.** Diagnosis and improvement of saline-alkali soils, U.S. Depart. of Agric. Handbook n° 60, U.S. Government Printing Office Washington D.C., 160 p., Richards L.A., ed.

**Vincent R., 2006.** Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *Laminaria digitata*. Thèse de doctorat. Biologie. Université de Rennes 1. 237pp.

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

**Wang H., Qi Q., Schorr P., Cutler A.J., crosby W. and Fowke L.C., 1993.** ICK1, a cyclin dependent protein kinase inhibitor from *Arabidopsis thaliana* interacts with both cdc2a and CycD3, and its expression is induced by abscisic acid. plant J 15: 501-510

**Wang T.L., Domoney C., Hedley C.L., Casey R. and Grusak M.A., 2003.** Can we improve the nutritional quality of legume seeds? Plant Physiol 131: 886-891

**Wang W.X., Vinocur B., Shoseyov O. and Altman A., 2001.** Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. Acta Hort 560: 285-292

**Weimberg R., Lerner H.R. and Poljakoff-Mayber A., 1984.** Changes in growth and water-soluble solute concentrations in *Sorghum bicolor* stressed with sodium and potassium salts. *Physiol. Plant.* 62, p. 472-480.

**Wiktionnaire., 2014.** Limon, Wikimedia Foundation Inc. United States 2014.

**Williams W.D., 1987.** Salinization of rivers and streams: An important environmental hazard. *Ambio* 16: 181-185.

**Williams W.D., 1999.** Salinization: A major threat to water resource in the arid and semi arid regions. *Lakes & Reservoir: Research and Management* 4: 85-91.

**Williams D.D., Williams N.E., Cao Y., 1999.** Road salt contamination of groundwater in a major metropolitan area and development of a biological index to monitor its impact. *Water Research* 34: 127-138.

**Wilson Adjele Eli., 2011.** Recherche d'isothiocyanates à intérêts fonctionnel et technologique chez les Brassicacées. Thèses de doctorat, Université de Strasbourg.

- Wolf O., Munns R., Tonnet M.L. et Jeschke W.D., 1991.** The role of the stem in the partitioning of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> in salt-treated barley. *J. Exp. Bot.*, 42: 697-704.
- Wu Y., Spollen W.G., Sharp R.E., Hetherington P.R. and Fry S.C., 1994.** Root growth maintenance at low water potentials increased activity of xyloglucan endotransglycosylase and its possible regulation by abscisic acid. *Plant Physiol* 106: 607-615
- Wyn Jones G. et Gunston H., 1991.** Complètement a ryor conflicting approaches to Salinity DDU. Bulletin n 23, pp 7-9.
- Yeo A.R. (1983).** Salinity resistance: physiologies and prices. *Physiologia Plantarum* 58: 214-222.
- Yeşiloğlu Y., 2005.** Utilization of bentonite as a support material for immobilization of *Candida rugosa* lipase. *Process Biochemistry*. 40: 2155-2159.
- Zhu B., Su J., Chang M.C., Verma D.P.S., Fan Y.L. and Wu R., 1998.** Overexpression of a pyrroline-5-carboxylate synthetase gene and analysis of tolerance to water and salt stress in transgenic rice. *Plant Sci* 139: 41-48
- Zhu H., Choi H.K., Cook D.R. and Shoemaker R.C., 2005.** Bridging Model and Crop Legumes through Comparative Genomics. *Plant Physiology* 137: 1189-1196
- Zhu J.K., 2002.** Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Biol* 53: 247-273
- Zhu J.K., 2003.** Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in plant biology* 6: 441-445
- Zhu J.K., 2000.** Genetic Analysis of Plant Salt Tolerance Using Arabidopsis. *Plant Physiol.* 124: 941-948
- Zhu J.K., 2001.** Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science* 6: 66-71
- Zid E. et Grignon C., 1991.** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes au stress. Cas de stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. pp.91-108.
- Zid E. et Grignon C., 1986.** Effets comparés de NaCl, KCl et Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sur la croissance et la nutrition minérale de jeunes *Citrus aurantium* L. *Oecol. Plant.* 7 (4), p. 407-416.

# ANNEXE

**Tableau 10:** Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs relative en eau des feuilles et des racines de *Raphanus sativis* L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (en %)	Dose de NaCl (meq.l <sup>-1</sup> )	Teneur relative en eau RWC (%)
00	00	84,65±0.6
	50	67,53±1.23*
	100	65,36±0.51*
07	00	96,19±0.63
	50	89,95±0.95*
	100	88,01±1.62*
10	00	93,19±1.65
	50	89,41±0.53*
	100	79,93±0.87*

**Tableau 11:** Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en pigment chlorophylle de *Raphanus sativis* L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (en %)	Dose de NaCl (meq.l <sup>-1</sup> )	Teneurs en pigment chlorophylle
00	00	8,81±0.91
	50	7,68±0.58*
	100	6,27±1.02*
07	00	9,05±0.62
	50	8,6±1.32*
	100	5,78±0.54*
10	00	9,94±0.65
	50	7,53±0.54*
	100	5,99±0.89*

**Tableau 12:** Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en proline des feuilles et des racines de *Raphanus sativis* L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (en %)	Dose de NaCl (meq.l <sup>-1</sup> )	Teneurs en proline	
		Feuilles	Racines
00	00	262,66±3.26	271.01±2.56
	50	406.66±2.65*	623.3±3.96*
	100	345±4.58*	531.31±3.87*
07	00	458.33±5.58	520.22±4.65
	50	520±3.02*	641.32±2.45*
	100	515.33±4.78*	636.56±4.03*
10	00	496±6.25	533.96±5.85
	50	646±3.58*	698.23±4.69*
	100	639±4.69*	665.36±3.47*

**Tableau 13:** Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en sodium des feuilles et des racines de *Raphanus sativus* L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (en %)	Dose de NaCl (meq.l <sup>-1</sup> )	Teneurs en sodium (µg)	
		Feuilles	Racines
00	00	9,5±1.23	11,6±0.98
	50	14.8±0.23*	16.2±0.63*
	100	14.9±0.63*	16.4±0.25*
07	00	12.63±1.52	14.25±1.56
	50	18.26±1.36*	22.56±2.03*
	100	17±0.89*	21.36±1.53*
10	00	12.07±0.98	15.13±0.87
	50	17.7±1.63*	24.21±1.25*
	100	19.16±2.12*	23.51±1.54*

**Tableau 14:** Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en potassium des feuilles et des racines de *Raphanus sativus* L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (en %)	Dose de NaCl (meq.l <sup>-1</sup> )	Teneurs en potassium (µg)	
		Feuilles	Racines
00	00	0.78±0.08	0.84±0.05
	50	0.83±0.01	0.85±0.2
	100	0.77±0.06	0.74±0.04
07	00	0.68±0.32	0.87±0.08
	50	0.75±0.1	0.96±0.06
	100	0.76±0.08	0.97±0.05
10	00	1.0±2.08	0.90±0.14
	50	0.68±0.05	0.95±0.12
	100	0.72±0.13	0.97±0.09

**Tableau 15:** Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en calcium des feuilles et des racines de *Raphanus sativus* L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (en %)	Dose de NaCl (meq.l <sup>-1</sup> )	Teneurs en calcium (µg)	
		Feuilles	Racines
00	00	0.52±0.06	0.89±0.08
	50	0.91±0.05*	1.75±0.12
	100	0.81±0.04*	1.63±0.15*
07	00	0.81±0.12	0.98±0.14
	50	1.00±0.09*	1.94±0.06
	100	0.48±0.06*	0.89±0.14
10	00	0.94±0.14	0.98±0.08
	50	0.70±0.06*	0.89±0.07
	100	0.57±0.05*	0.72±0.13*

**Tableau 16:** Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) du rapport potassium/sodium des feuilles et des racines de *Raphanus sativus* L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (en %)	Dose de NaCl (meq.l <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> /Na <sup>+</sup> (µg)	
		Feuilles	Racines
00	00	0,082±0.09	0,072±0.12
	50	0,056±0.15	0,052±0.07
	100	0,051±0.06	0,045±0.06
07	00	0,053±0.20	0,061±0.09
	50	0,041±0.08	0,042±0.13
	100	0,044±0.04	0,045±0.07
10	00	0,082±0.14	0,059±0.13
	50	0,037±0.10	0,039±0.05
	100	0,037±0.07	0,041±0.04