

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



Université Abdelhamid IBN BADIS- Mostaganem
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de la Biologie



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de magister en biologie

Option :

Sciences des sols et de l'environnement

THEME

Effet combiné de la bentonite et de la salinite sur les propriétés
biochimiques, minérales et hydriques chez l'haricot
« *Phaseolus vulgaris.L* ».

Laboratoire de la biodiversité et conservation des eaux et des sols, Université Abdelhamid
IBN BADIS - Mostaganem.

Présenté Par : M^{elle} HAMZA Somia

Devant le jury composé de :

| | | | |
|-------------------------------|-----------------------|------------------|--|
| P^r SAIDI | Djamal | Président | Université Hassiba BEN BOUALI - CHLEF |
| D^r CHIBANI | Abdelwahab | Examineur | Université Abdelhamid IBN BADIS - MOSTAGANEM |
| D^r DJIBAOUI | Rachid | Examineur | Université Abdelhamid IBN BADIS - MOSTAGANEM |
| P^r REGUIEG | Yssaad Houcine | Encadreur | Université Abdelhamid IBN BADIS - MOSTAGANEM |

Abdelhakim.

2015 / 2016

Remerciement

Tout d'abord, grâce à ALWWAHID qui m'a créé, m'a protégé, qui est toujours avec moi et qu'il ne me laisse jamais seule. Louanges à ALLAH.

Je voudrais remercier du fond du cœur Monsieur le Professeur REGUIEG Yssaad Abdelhakim Hocine, qui a encadré cette étude au quotidien. Il fut toujours présent, en particulier lorsque je me suis confrontée au doute, je lui suis reconnaissante pour : sa grande disponibilité, son ouverture d'esprit, son dynamisme et son optimisme, ainsi que pour ses multiples et précieux conseils scientifiques, professionnels ou tout simplement humains.

J'adresse tous mes remerciements au monsieur le directeur de Laboratoire de la biodiversité et conservation des eaux et des sols, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, qui a accepté de m'accueillir au sein de son équipe sans oublier madame : MJAHEB Wahiba l'ingénieur de laboratoire pour sa patience, sa gentillesse, sa disponibilité, ses conseils et son accueil très chaleureux de m'avoir aidée au laboratoire.

Aussi, je tiens à remercier Monsieur BOUTHIBA Abd El Kader le doyen de l'institut de l'Agronomie de l'université de Hassiba Ben Bouali de CHLEF et aussi bien Mr AMZERT le vice doyen d'avoir accepté accéder à la station expérimentale de l'institut et travailler dans la serre. Je leur exprime ici toute ma reconnaissance et je voudrais aussi remercier monsieur le responsable de la station pour son aide pertinente et sa disponibilité lors de mon passage dans la station expérimentale .et tous les travailleurs.

Je tiens à remercier les membres du jury, qui ont accepté d'évaluer mon travail et participer au jury.

Mes plus vifs remerciements vont à M^r SAIDI Djamel professeur à l'université Hassiba Ben Bouali de Chlef pour l'intérêt porté à mon travail et pour avoir accepté de présider ce jury.

Je tiens à remercier très spécialement tous les enseignants des modules de liere année magister de sciences des sols et de l'environnement 2011/2012. Merci pour vos conseils, vos encouragements, qui nous ont aidés à surmonter fatigue et découragement.

Je voudrais remercier l'ensemble des personnes, qui m'ont aidé, de près ou de loin, à réaliser ce travail.

Toute ma gratitude à mes collègues de promotion ainsi qu'à d'autres étudiants

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mon père.

Ma mère

Ma belle mère

A l'âme de ma grande mère Boucherrougui Houda

Ma grande mère ; mama Zehra.

Ma sœur ; Safta

Mes frères ; Hassan et Mohammed Amin

Toute ma famille.

Mes voisines ; Fatiha, Hiba et Amel.

Toutes mes amies.

Soumia

ملخص

تعتبر ملوحة التربة من أهم العوامل المحددة التي تتحكم في الإنتاجية الزراعية خاصة في المناطق الجافة و الشبه جافة. إن وجود الأملاح المنحلة بتركيز كبيرة في التربة يؤثر على الآليات الفيزيولوجية للنبات مما يشكل عاملا محمدا كبيرا للإنتاج النباتي. و أيضا فإن تحمل النباتات الزراعية للملوحة يظهر محدودا و هذا راجع لدرجة تعقيد الآليات المتبعة لتحمل الملوحة من طرف النباتات.

إن الهدف من عملنا هو دراسة تأثير بعض نسب من البنتونيت بالإشتراك مع تأثيرات خارجية من الملوحة على المحتوى المائي، البيوكيميائي و المعدني عند أحد أنواع البقوليات الجذ حساس للملوحة و المزروع بصفة عامة في الجزائر و هو نبات الفاصولياء *Phaseolus vulgaris L*. قمنا بإجراء التجارب في أصص خاصة للإنبات وفق شروط نصف مراقبة في البيت البلاستيكي. تم إضافة البنتونيت المستخرج من ولاية مستغانم بنسب 00 ، 07 و 10 % للوزن الإجمالي للخليط (رمل/ دوبال) من أجل إستعماله في إنبات أحد أصناف الفاصولياء و هو "الجديدة" الذي أخضع أيضا للإجهاد الملحي بواسطة ثلاث تراكيز مختلفة من محلول كلوريد الصوديوم وهي (0 50 100 ميلي). المؤشرات الفيزيولوجية و المعدنية المتبعة للتكيف مع العوامل الخارجية من طرف النباتات التي توجب علينا دراستها هي التوازن المائي، تراكم الكلوروفيل والبرولين في الأوراق و التأثير على امتصاص بعض الكاتيونات Na^+ ، Ca^{2+} و K^+ .

تأثيرات الملوحة تمثلت في نقص المحتوى من الماء و أصباغ الكلوروفيل . بالمقابل، لاحظنا إرتفاعا في محتوى البرولين و تذبذب في توزيع الكاتيونات في الاوراق و الجذور حيث أن زيادة محتوى Na^+ يشبط عملية إمتصاص شوارد Ca^{2+} و K^+ . هذه الآثار تختلف تبعا لشدة الإجهاد الملحي. إضافة البنتونيت مع غياب الإجهاد الملحي يعمل بصفة واضحة على تحسين مؤشرات النمو للنباتات. كماتين لنا أن نسبة 07 % من البنتونيت التي تم تطبيقها على النباتات التي تم معالجتها بمختلف تراكيز الملح تعتبر الأنسب و التي تقوم بدور هام في التعديل الأسموزي و تحقيق التوازن في التغذية بالأملاح المعدنية للكاتيونات الثلاثة في أوراق و جذور الفاصولياء و تحسين المؤشرات الفيزيولوجية الأخرى مثل المحتوى من الماء و عملية التركيب الضوئي.

الكلمات المفتاحية: ملوحة التربة، البنتونيت ، المحتوى المائي، الكلوروفيل ، البرولين ، التغذية المعدنية،

الفاصولياء *Phaseolus vulgaris L*.

Résumé

La salinisation des sols est un facteur limitatif majeur de la productivité agricole, en particulier dans les régions arides et semi-arides. La présence de sels solubles en forte concentration dans le sol, affecte les mécanismes physiologiques de la plante et constitue un facteur limitant majeur de la production végétal. Ainsi, la tolérance des plantes cultivées demeure limitée, compte tenu de la complexité des mécanismes impliqués dans la tolérance des plantes au sel.

L'objectif de notre travail est d'étudier l'influence de quelques doses de bentonite, associées à des contraintes abiotiques de salinité sur le comportement hydrique, biochimique et minéral, d'une espèce de légumineuses très sensible à la salinité communément cultivé en Algérie ; l'Haricot *Phaseolus vulgaris L.* Les essais ont été réalisés en pots de végétation dans des conditions semi-contrôlées dans la serre. La bentonite de Mostaganem est ajoutée à 00, 07 et 10% du poids du substrat (sable/ terreau). Le mélange ainsi obtenu est utilisé pour la culture d'une variété d'haricot *Phaseolus vulgaris L.*, appelée El Djadida soumise à un stress salin à l'aide d'une solution de NaCl avec 03 concentrations (0, 50 et 100 meq/l). L'intérêt porté aux caractères physiologique et minéralogique d'adaptation aux contraintes environnementales a nécessité de notre part l'étude de bilan hydrique, l'accumulation des pigments chlorophylliens et de la proline et l'effet sur l'absorption de certains cations: Na^+ , K^+ et Ca^{2+} pour l'approche minéralogique.

Les effets de salinité sont manifestés par une diminution de la teneur en eau et des pigments chlorophylliens. Par contre, nous avons observé une augmentation de la teneur en proline et une perturbation dans la distributions des ions Na^+ , K^+ et Ca^{2+} dans les feuilles et les racines (l'augmentation de teneur en Na^+ inhibe l'absorption des ions de Ca^{2+} et K^+). Ces effets varient en fonction de l'intensité du stress.

L'addition de la bentonite dans les substrats de cultures et en absence de traitement salin a pour but d'améliorer nettement les paramètres de croissance des plantes. On constate que les doses de 7 % de bentonite appliquées et combinées, aux concentrations salines sont les plus appropriées qui contribuent à l'ajustement osmotique et assurent une nutrition minérale équilibrée des trois cations dans les feuilles et racines de l'haricot et améliorent les autres paramètres physiologiques tel que le contenu en eau et la photosynthèse.

Mots-clés : Sol, stress salin, bentonite, proline, chlorophylle, nutrition minéralogique, *Phaseolus vulgaris.L.*

Abstract

Soil salinization is a major limiting factor in agricultural productivity, especially in arid and semi-arid region. The presence of soluble salts at high concentrations in the soil, affect physiological mechanisms of the plant and is a major limiting factor of the vegetable production. Thus, tolerance of cultivated plant is remained, given the complexity of the mechanisms involved in tolerance to salt plants.

The objective of our work is to study the influence of some bentonite doses associated with abiotic stresses of salinity on water, biochemical and mineral behavior, of leguminous species very sensitive to salinity commonly grown in Algeria ; the bean "*Phaseolus vulgaris L*". The tests were carried out in pots of vegetation in semi-controlled conditions in the greenhouse. Mostaganem bentonite is added at 00, 07 and 10% by weight of the substrate (sand / peat).The mixture thus obtained is used for culturing a variety of bean *Phaseolus vulgaris* , called El Djadida subjected to salt stress using NaCl solution with 03 concentrations (0, 50 and 100 meq/l). Interest in physiological and mineralogical characteristics us in adaptation environmental constraints required study of water balance, the accumulation of chlorophyll pigments and proline and the effect on the absorption of some cations: Na⁺, K⁺ and Ca²⁺ for mineralogical approach.

Salinity effects are manifested by a decrease in water content and chlorophyll pigments. However, we observed an increase in proline content and the disturbance in the distributing of Na⁺, K⁺ and Ca²⁺ ions in the leaves and roots (The Na⁺ content increasing inhibits the absorption of Ca²⁺ and K⁺ ions) .These effects is depending to the intensity of the stress.

The addition of bentonite in the substrates cultures and in the absence of salt treatment improve significantly the plant growth parameters. It is observed that the doses of 07% for bentonite applied and combined to the salt concentrations are most appropriate that contribute to the osmotic adjustment and provide a balanced mineral nutrition of the three cations in the leaves and roots of the bean and improve the other physiological parameters such as water content and the photosynthesis process.

Key-words : Soils , salt stress , bentonite , proline , chlorophyll, mineral nutrition, *Phaseolus vulgaris.L*

Liste des abreviations

C.E.C : Capacité d'Echange Cationique.

C.I.R.A.D : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.

Chla : Chlorophylle (a)

Chlb : Chlorophylle (b)

Chlt : Chlorophylle totale (a+b)

CO₃²⁻ : carbonate

CR : Capacité de rétention

DO : Densité Optique.

ds /m : dési siemens par mètre.

EAO : Espèces Réactives d'Oxygène

ENOF : Laboratoire ENOF de Mostaganem, Entreprise Nationale des produits miniers non-Ferreux et des substances utiles filiale du groupe public BENTAL SPA.

ESP : Exchangeable Sodium Pourcentage.

ETP: Evatranspiration.

F : test de Fisher.

FAO: Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

HCO₃⁻ : bicarbonate.

HSP: Heat Shoc Proteins

INSID : Institut National des Sols, de L'Irrigation et du Drainage

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

ITCMI : Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles

MAPK: Mitogen-activated protein kinase.

Meq : Milliéquivalent.

mM : milli molaire.

mmho/cm : Millimhos par centimètre.

ONHYD : Office National hydrographique

r : Coefficient de corrélation de Pearson.

ROS : Réactives Oxygen Species.

S.A.U : Surface Agricole Utile.

SOS: Salt Overly Sensitive

Liste des Figures

| | |
|--|----|
| Figure 1: Production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité | 15 |
| Figure 2: Compartimentation et sélection des ions chez la plante en réponse au stress salin. | 21 |
| Figure 3: Éléments structuraux : les tétraèdres et les octaèdres | 24 |
| Figure 4: (a) Double Couche Gouy-Chapmann. (b) : Transport des éléments colloïdes | 27 |
| Figure 5: a) : Illustration de l'empilement des feuillets d'argile, montrant les surfaces basales, les bordures des particules, ainsi que les espaces inter feuillets. b) Représentation schématique de l'empilement des feuillets unitaires dans une smectites. (Amirouche, 2011). | 28 |
| Figure 6: Structure d'une montmorillonite. (Amirouche, 2011). | 30 |
| Figure 7: L'espèce <i>Phaseolus vulgaris</i> L | 33 |
| Figure 8 : Stades phénologiques de l'haricot vert. (ITCMI, 2010)..... | 34 |
| Figure 9: Le matériel végétal ayant fait l'objet de notre étude : « Les graines d'Haricots <i>Phaseolus vulgaris</i> L, » variété El-Djadida..... | 37 |
| Figure 10: La poudre de Bentonite..... | 38 |
| Figure 11 : Serre semi contrôlé de la station expérimentale de l'Institut de l'Agronomie de l'Université de CHLEF..... | 38 |
| Figure 12: Le protocole expérimental de l'étude « Effet combiné de la salinité et la bentonite sur les paramètres hydriques, biochimiques et minéralogiques chez l'haricot « <i>Phaseolus vulgaris</i> .L», variété El Djadida | 40 |
| Figure 13: La mise à germination des grains de l'haricot..... | 42 |
| Figure 14: Plantules de l'haricot | 42 |
| Figure 15: Repiquage des plantules de l'haricot stade deux feuilles dans des pots en plastique « 10 jours après la germination » | 42 |
| Figure 16 : Application du stress le vingt troisième (23 ^{ième}) jour après repiquage | 43 |
| Figure 17 : Schéma explicatif du dispositif expérimental..... | 44 |
| Figure 18 : Teneur relative en eau (%) des feuilles des plantes de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. cultivées en absence de Bentonite et stressées par la salinité. | 49 |
| Figure 19 : Déficit hydrique (%) des feuilles des plantes de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. cultivées en absence de Bentonite et stressées par la salinité. | 50 |
| Figure 20: Teneur relative en eau (%) des feuilles des plantes de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. cultivées à 07 % de Bentonite et stressées à la salinité. | 50 |
| Figure 21 : Déficit hydrique (%) des feuilles des plantes de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. cultivées à 07 % de Bentonite et stressées à la salinité. | 51 |

| | |
|--|----|
| Figure 22: Teneur relative en eau (%) des feuilles des plantes de <i>Phaseolus vulgaris L.</i> cultivées à 10 % de Bentonite et stressées à la salinité. | 52 |
| Figure 23: Déficit hydrique (%) des feuilles des plantes de <i>Phaseolus vulgaris L.</i> cultivées à 10 % de Bentonite et stressées à la salinité. | 52 |
| Figure 24 : Teneur en chlorophylle des feuilles des plantes de <i>Phaseolus vulgaris.L</i> cultivées en l'absence de Bentonite et stressées à la salinité. | 55 |
| Figure 25 : Teneur en chlorophylle des feuilles des plantes de <i>Phaseolus vulgaris L.</i> cultivées à 07 % de Bentonite et stressées à la salinité. | 56 |
| Figure 26 : Teneur en chlorophylle des feuilles des plantes de <i>Phaseolus vulgaris L.</i> cultivées à 10 % de Bentonite et stressées à la salinité. | 56 |
| Figure 27 : Teneur en proline (mg/g) dans les feuilles du <i>Phaseolus vulgaris L.</i> cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. | 57 |
| Figure 28 : Teneur en proline (mg/g) dans les feuilles du <i>Phaseolus vulgaris L.</i> cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. | 58 |
| Figure 29 : Teneur en proline (mg/g) dans les feuilles du <i>Phaseolus vulgaris L.</i> cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. | 58 |
| Figure 30 : Teneur en sodium (μg) dans les feuilles et racines du <i>Phaseolus vulgaris L.</i> cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. | 61 |
| Figure 31 : Teneur en sodium (μg) dans les feuilles et racines du <i>Phaseolus vulgaris L.</i> Cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. | 62 |
| Figure 32 : Teneur en sodium (μg) dans les feuilles et racines du <i>Phaseolus vulgaris L.</i> cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. | 63 |
| Figure 33 : Teneur en potassium (μg) dans les feuilles et racines du <i>Phaseolus vulgaris L.</i> cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. | 64 |
| Figure 34: Teneur en potassium (μg) dans les feuilles et racines du <i>Phaseolus vulgaris L.</i> cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. | 64 |
| Figure 35: Teneur en potassium (μg) dans les feuilles et racines du <i>Phaseolus vulgaris L.</i> cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. | 65 |
| Figure 36 : Teneur en calcium (μg) dans les feuilles et racines du <i>Phaseolus vulgaris L</i> cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. | 66 |
| Figure 37 : Teneur en calcium (μg) dans les feuilles et racines du <i>Phaseolus vulgaris L.</i> cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. | 67 |
| Figure 38 : Teneur en calcium (μg) dans les feuilles et racines du <i>Phaseolus vulgaris L.</i> cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. | 67 |

| | |
|---|----|
| Figure 39 : Rapport potassium/sodium dans les feuilles et racines des plantes de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. | 72 |
| Figure 40 : Rapport potassium/sodium dans les feuilles et racines des plantes de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. cultivées à 07% de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. | 72 |
| Figure 41 : Rapport potassium/sodium dans les feuilles et racines des plantes de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité. ... | 73 |

Liste des Tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1: Caractéristiques principales des sols salés (Maillard, 2001)..... | 8 |
| Tableau 2: Les superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'Ouest du pays..... | 10 |
| Tableau 3: Les relations entre concentration en sels, pression osmotique et conductivité électrique pour des solutions salines différentes. | 12 |
| Tableau 4: Surface spécifique et C.E.C. de quelques minéraux argileux (d'après Morel) | 26 |
| Tableau 5: Analyse chimique de la bentonite naturelle utilisée (% en poids) (ENOF, 1997). | 30 |
| Tableau 6: Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite de Mostaganem. (Bachir bouiadjra, 2010) | 31 |
| Tableau 7: Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite de Mostaganem (ENOF, 1997)..... | 31 |
| Tableau 8: Caractéristiques minéralogiques de la bentonite (ENOF, 1997)..... | 31 |
| Tableau 9: Distribution en poids du substrat de culture en mélange sable/terreau et bentonite. | 39 |
| Tableau 10: Composition de la solution nutritive de HOAGLAND (1938). | 42 |
| Tableau 11 : Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs relative en eau des feuilles de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite. | 53 |
| Tableau 12 : Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en pigment chlorophylle de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite. | 57 |
| Tableau 13 : Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en proline des feuilles de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite..... | 59 |
| Tableau 14 : Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en sodium des feuilles et des racines de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite..... | 63 |
| Tableau 15 : Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en potassium des feuilles et des racines de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite..... | 65 |

Tableau 16 : Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en calcium des feuilles et des racines de *Phaseolus vulgaris* L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite. 68

Tableau 17: Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) du rapport potassium/sodium des feuilles et des racines de *Phaseolus vulgaris* L. stressées pendant deux semaine à la salinité et cultivées dans des substrats sableux amendés en bentonite. 73

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|----------|
| Résumé | |
| Abstract | |
| Liste des abréviations | |
| Liste des figures | |
| Liste des tableaux | |
| Introduction generale..... | I |
| Première partie: Revue bibliographique | |
| I- La Salinisation des sols..... | 4 |
| I-1-Generalites..... | 4 |
| I-1-1- La salinisation : | 4 |
| I-1-2- La salinité : | 4 |
| I-1-3- Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation. | 4 |
| I-1-4- Origine des sols salés. | 4 |
| I-1-4-1- La salinisation primaire. | 4 |
| a-Salinisation geologique : | 5 |
| b-Salinisation marine et lagunaire : | 5 |
| c- Salinisation hydrogeologique : | 5 |
| I-1-4-2- La salinisation secondaire..... | 5 |
| I-1-5-Classification des sols sales. | 6 |
| I-1-5-1- Sols salins (Solontchaks, Fluvisols Saliques)..... | 6 |
| A)Sol salin à complexe calcique (Solontchaks Haplique, Calcique) | 6 |
| B)Sol salin à complexe sodique (Solontchaks Sodique) | 7 |
| I-1-5-2-Sols alcalins (Les Solonetz) : | 7 |
| I-2- SALINISATION DES TERRES DANS LE MONDE ET EN ALGERIE. | 8 |
| I-3- EFFET DES SELS SUR LES PROPRIETES DU SOL. | 10 |
| I-3-1-Effet des sels sur les proprietes physiques du sol. | 10 |
| I-3-1-1- Effets sur la structure. | 10 |
| I-3-1-2- Effets sur la permeabilite du sol. | 10 |
| I-3-1-3- Effets sur la retention de l'eau. | 11 |
| I-3-1-4- Effets sur le potentiel osmotique. | 11 |

| | |
|--|-----------|
| I-3-2-Effet des sels sur les proprietes chimiques du sol (effet sur l'equilibre ionique du sol)..... | 12 |
| I-3-3-Effet des sels sur les proprietes biologiques du sol..... | 12 |
| I-4-Lutte contre la salinisation des sols..... | 13 |
| I-4-1- Lutte contre la salinisation des sols liee a l'irrigation..... | 13 |
| I-4-2- Lutte contre la salinisation des sols liee a la remontee de la nappe phreatique. | 13 |
| I-4-3 - La Phytoremédiation | 13 |
| II- Le stress salin et la plante..... | 14 |
| II-1- Définition du stress: | 14 |
| II-2- Définition du stress salin..... | 15 |
| II-3- Effets du stress salin sur la plante. | 16 |
| II-3-1- Effet de la salinite sur la germination..... | 16 |
| II-3-2- Effet de la salinite sur la croissance et le developpement. | 17 |
| II-3-3-Effet de la salinite sur le comportement biochimique de la plante..... | 17 |
| II-3-4- Effets nutritionnels de NaCl sur la plante..... | 18 |
| II-3-5- Stress oxydatif. | 19 |
| II-4- Mécanismes de la tolérance des plantes au stress salin. | 19 |
| II-4-1- Exclusion des ions. | 19 |
| II-4-2 Inclusion et compartimentation des ions..... | 20 |
| II-4-3- Sélection des ions | 21 |
| II-4-4- Ajustement osmotique | 21 |
| III- Généralité sur les argiles et la bentonite. | 22 |
| III-1-Définition..... | 22 |
| III-2-Proprietes et utilisation | 22 |
| III-3-Classification et structure des mineraux argileux..... | 23 |
| III-3-1- Structure de mineraux argileux. | 23 |
| III-3-2-Classification des argiles. | 24 |
| 1) Mineraux de type 1/1 ou T-O..... | 24 |
| 2) Mineraux du type 2/1 ou T-O-T..... | 25 |
| 3) Mineraux du type 2 /1/1 ou T-O-T-O | 25 |
| 4) Mineraux inter stratifies | 25 |
| III-3-3-Proprietes des argiles..... | 25 |
| III-3-3-1- Capacite d'échange cationique (CEC). | 25 |
| III-3-3-2-Proprietes colloïdales. | 27 |

| | |
|--|-----------|
| III-3-3-3-Gonflement. | 27 |
| a- Gonflement inter foliaire. | 27 |
| B- Gonflement inter particulaire. | 27 |
| III-4- La Bentonite. | 28 |
| III-4-1-Generalite sur la bentonite. | 28 |
| III-4-2-Origine de la bentonite. | 28 |
| III-4-3-Structure et composition de la bentonite. | 29 |
| III-4-4- Bentonite de Mostaganem | 30 |
| A- Les caracteristiques physico-chimiques des argiles benthoniques: | 30 |
| III-4-5- La Bentonite et le sol. | 31 |
| III-4-6-Application des bentonites. | 32 |
| IV- L'espece <i>Phaseolus Vulgaris L.</i>..... | 32 |
| IV-1- Caracteristiques botaniques de l'espece. | 33 |
| IV-2- Climat, Eau, Sol. | 33 |
| IV-3- Stades phenologiques. | 34 |
| IV-4- Varietes les plus cultivees en Algerie : | 34 |
| IV-5- Zones de production..... | 34 |
| IV-6- Production et importance de l'haricot. | 34 |
| IV-7- Sensibilite de l'haricot. | 35 |
| Deuxieme partie: Materiels et Methodes | |
| I- Dispositif Experimental. | 37 |
| I-1-Materiel vegetal. | 37 |
| I-2- Caracteristiques de la Bentonite | 37 |
| I-3-Preparation du materiel de culture. | 39 |
| I-3-1- Preparation du substrat de culture. | 39 |
| I-3-2- Preparation des pots et repotage du sable. | 39 |
| I-3-3- Germination | 41 |
| I-3-4- Repiquage. | 41 |
| I-3-5- Preparation Des Solutions D'arrosage. | 41 |
| 1) La Solution Nutritive. | 41 |
| 2) Preparation de la solution saline. | 42 |
| I-3-6-Methode de calcul de la capacite de retention | 43 |
| II- Application du stress. | 43 |
| III- Parametres physiologiques etudies :..... | 45 |

| | |
|--|-----------|
| III-1- Les paramètres hydriques : | 45 |
| III-1-1-La teneur relative en eau des tissus (TRE) : | 45 |
| III-1-2-Déficit Hydrique, DH : | 45 |
| III-2- Les Paramètres biochimiques : | 46 |
| III-2-1- Dosage de la chlorophylle | 46 |
| III-2-2-Dosage de la proline. | 46 |
| III-3- Paramètres minéralogiques étudiés (dosage de quelques cations) : | 47 |
| IV- Traitement et analyse statistique | 48 |
| V- Laboratoire d'analyse : | 48 |
| Partie III : Résultats et discussions | |
| I- Paramètres hydriques. | 49 |
| I-1- Sans traitement à la Bentonite | 49 |
| A) Détermination de la Teneur Relative En Eau : | 49 |
| B) Déficit Hydrique DH : | 49 |
| I-2- A 07% de Bentonite : | 50 |
| A) Détermination de La Teneur Relative En Eau : | 50 |
| B) Déficit Hydrique DH : | 51 |
| I-3- A 10% de Bentonite : | 51 |
| A) Détermination de La Teneur Relative En Eau : | 51 |
| B) Déficit Hydrique DH : | 52 |
| Discussions | 53 |
| II- Paramètres biochimiques : | 55 |
| II-1 Pigments chlorophylliens : | 55 |
| 1- Sans traitement à la Bentonite : | 55 |
| 2- A 07% de Bentonite : | 55 |
| 3- A 10% de Bentonite : | 56 |
| II-2 Proline : | 57 |
| 1- Sans traitement à la bentonite : | 57 |
| 2- A 07% de bentonite : | 58 |
| 3- A 10% de bentonite : | 58 |
| Discussion | 59 |
| III- Effet de la salinite sur la teneur en cations : | 61 |
| III- 1-Teneur en Na ⁺ dans les différents organes : | 61 |
| A-Sans traitement à la Bentonite : | 61 |

| | |
|--|-----------|
| B- A 07% de Bentonite : | 62 |
| C- A 10% de Bentonite : | 62 |
| III-2- Teneur en Potassium : | 63 |
| A) Sans traitement à la Bentonite : | 63 |
| B) A 7% de Bentonite : | 64 |
| C) A 10% de Bentonite : | 65 |
| III-3- Teneur en Calcium : | 65 |
| A) Sans traitement à la Bentonite : | 66 |
| B) A 7% de Bentonite : | 66 |
| C) A 10% de Bentonite : | 67 |
| Discussion : | 68 |
| III-4-Étude Du Ratio K^+/Na^+ selon les organes de la plante : | 71 |
| A) Sans traitement à la Bentonite : | 71 |
| B) A 07% de Bentonite : | 72 |
| C) A 10% de Bentonite : | 73 |
| Discussion:..... | 73 |
| Conclusion générale | 76 |
| Références bibliographiques | |
| ANNEXES | |

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Les plantes se trouvent rarement dans des conditions environnementales optimales, mais elles se trouvent souvent dans des conditions extrêmes de potentiel hydrique, de température, de salinité ainsi que d'autres facteurs qui amènent les organismes à la limite de la survie.

La salinité est certainement l'une des variables naturelles, d'importantes surfaces des terres du globe sont naturellement salines. Elles sont présentes sous tous les climats et sur tous les continents (Szabolcs, 1989). Elles sont étroitement liées à une source de salinité d'ordre géologique (évaporite), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eau marine). Mais aussi elles subissent une salinisation secondaire, le développement mondiale de la culture irriguée entraîne souvent une extension secondaire des terres salées liée à la dégradation chimique et physique des sols et à une mauvaise conduite de l'irrigation, sous climats chauds et atmosphères évaporantes (Summer, 1993, Ghassemi et *al.*, 1995 et Cheverry et Bourrie, 1998) cités par Claud et *al.*, 2005.

La salinité a devenue un phénomène mondial, chaque année les surfaces perdues à cause de la salinité des sols varient autour de 20 millions d'hectare dans le monde (Baba Sidi-Kaci, 2010). Ainsi, ces surfaces sont passées de 48 millions à 265 millions d'hectare de terres agricoles touchées par la salinité, 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). Dès 1994, Szabolcs avait estimé à un milliard d'ha la surface des sols menacée par la salinisation. En Algérie, cette surface est estimée à près de 3,2 millions d'hectare (Belkhodja et Bidai, 2004).

La salinité du sol est l'une des principales contraintes environnementales auxquelles l'agriculture moderne est confrontée. En Algérie, les périmètres irrigués, surtout au sud où les apports en eau sont importants à cause du déficit hydrique (ETP: +200 mm/an), sont largement affectés par la salinisation secondaire (Djili et *al.*, 2003). La rareté de la pluie (précipitation < 100 mm /an) a contraint les agriculteurs à utiliser les eaux des nappes phréatiques qui sont fortement minéralisées. La salinisation progressive des sols est un facteur limitatif majeur de la productivité agricole. Souvent associée à la sécheresse, la salinité a un triple effet : elle réduit le potentiel hydrique (entraîne une réduction des surfaces cultivables), menace l'équilibre alimentaire (cause un déséquilibre ionique ou des perturbations en homéostasie ionique) et provoque une toxicité ionique qui conduit à une croissance réduite, limitation de la productivité végétale et participe aux chutes des rendements agricoles.

Introduction générale

La plupart des espèces d'intérêt agronomique sont rangées dans le groupe des glycophytes, dont la croissance est diminuée en présence de sel. A l'inverse des halophytes naturellement tolérantes aux sels (NaCl étant en général majoritaire), la résistance au stress salin met en jeu des mécanismes complexes incluant le contrôle des transports de Na^+ et K^+ . Les espèces tolérantes au sel se caractérisent par la capacité d'accumuler efficacement K^+ même en présence de fortes concentrations de Na^+ , et le contrôle de l'accumulation de Na^+ dans les parties aériennes.

Pour une agriculture durable il sera plus avantageux d'opter pour une gestion rationnelle des terres cultivées basées sur une connaissance profonde des interactions biologiques et en utilisant des ressources naturelles disponibles. C'est dans cette perspective que s'intègre l'action de mise en valeur les sols cultivés en introduisant la bentonite riche en argile. Cette action conduira à l'augmentation de la capacité d'échange cationique (Petr *et al.*, 1985 ; 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).

L'objectif de notre travail est d'étudier l'influence de quelques doses de bentonite, associées à des contraintes abiotiques de salinité sur le comportement hydrique, biochimique et minéral, d'une espèce de légumineuses très sensible à la salinité communément cultivé en Algérie ; l'Haricot *Phaseolus vulgaris*.L. Les essais ont été réalisés en pots de végétation dans des conditions semi-contrôlées dans la serre. L'intérêt porté aux caractères hydriques, biochimiques et minéralogique d'adaptation aux contraintes environnementales a nécessité de notre part l'étude de teneur relative en eau, l'accumulation des pigments chlorophylliens, utilisés souvent comme un outil de diagnostic de l'état fonctionnel des photosystèmes en conditions de stress salin, ainsi que l'analyse de l'accumulation de la proline et l'effet sur l'absorption de certains cations: Na^+ , K^+ et Ca^{2+} pour l'approche minéralogique.

Le mémoire proposé s'articule autour de trois parties :

- La première partie c'est une synthèse bibliographique qui porte quatre chapitres, le premier comporte un aperçu sur la salinisation, le deuxième parle sur le stress salin et comportement des plantes vis-à-vis ce dernier. Le troisième chapitre présente les caractéristiques des argiles en général et de la bentonite en particulier et le quatrième chapitre est fait l'objet d'une présentation de l'espèce végétale étudiée : qui est l'haricot '*Phaseolus vulgaris*'.

Introduction générale

- La deuxième partie consacrée à la description des procédures expérimentales et les moyens utilisés dans l'ensemble des expériences effectuées.
- La troisième partie fera l'objet des résultats obtenus sur l'étude de l'effet combiné de la bentonite et de la salinité sur les différentes propriétés hydriques, biochimiques et minéralogiques chez l'haricot « *Phaseolus vulgaris.L* ».



PARTIE I:
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I- La salinisation des sols.

I-1-Généralités

I-1-1- La salinisation :

La salinisation est un processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol, il s'en suit une diminution des rendements (Mermoud, 2006) .

I-1-2- La salinité :

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées (Asloum, 1990). Un sol salé indique la prédominance de NaCl. La salinité des sols, constitue un obstacle majeur sur la croissance des végétaux, dans les régions arides et semi-arides. La salinité est un facteur limitatif majeur de la productivité agricole, ces charges en sels soumettent les plantes à un stress permanent (Gupta et Abrol, 1990 in Bennabi, 2005).

D'une façon plus générale, il y a salinité chaque fois que la présence des sels vient modifier la vie végétale ou les caractéristiques des sols. La liste des sels en cause varie selon le cas de salinité, le plus fréquent en zone semi-aride est d'avoir des chlorures ou des sulfates de sodium ou de magnésium (Forges, 1972).

I-1-3- Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation.

Selon Wyn Jones et Gouston (1991), la salinisation des sols peut être due à :

- ✚ La lixiviation des sels solubles et/ou à l'évaporation, qui dépose leurs sels dans les sols.
- ✚ En régime non saturé, la remontée capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau (Raju et *al.*, 1993).

I-1-4- Origine des sols salés.

D'après Cherbuy (1991), la salinisation d'un milieu, implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire.

I-1-4-1- La salinisation primaire.

La salinisation primaire, correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux.

a-Salinisation géologique :

Le matériau géologique, par le biais de l'altération, peut libérer les éléments nécessaires à la formation des sels solubles (altération de minéraux primaires riches en sodium, de roches volcaniques, des produits de l'hydrothermalisme riches en soufre et en chlore, ou encore dissolution des évaporâtes, qui sont des accumulations salines anciennes) (IRD, 2008).

En région arides et semi-arides, ces sols se concentrant sur place ; dans les dépressions fermées (Servant., 1975).

b- Salinisation marine et lagunaire :

L'eau de mer est, bien entendu, une source principale de sel en milieu côtier. La salinisation peut alors être un phénomène permanent lié aux marées (salinisation marine) (Bouallain et *al.*, 1997). 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 (Gaucher et Burdin, 1974). Selon Szabolcs (1989) et d'après la FAO, la superficie totale concernée par cette salinisation primaire est proche de mille millions d'hectares, soit près de 5 % de la surface du globe.

c- Salinisation hydrogéologique :

Une nappe phréatique, d'origine continentale et salée par héritage géologique, peut contaminer le sol par ascension capillaire (IRD, 2008).

I-1-4-2- La salinisation secondaire.

Dans les zones à climat aride et semi-aride, les pratiques agricoles inappropriées représentent l'une des plus importantes causes de la salinisation secondaire. Elle peut être très rapide et se manifester à l'échelle de l'année, de la dizaine d'année ou de quelques siècles. Ce type de salinisation dû à la mauvaise combinaison d'une forte évaporation et d'un apport inadapté d'eau d'irrigation en relation avec son contenu en sels et aussi bien lessivage naturel insuffisant (Marc, 2001). 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. Cette menace selon Cheverry (1995) occasionne, chaque année des pertes de terres, variables selon les auteurs de 10 à 20 millions d'hectares.

Le risque de salinisation dépend de la charge en sel de l'eau d'irrigation, mais, même si les eaux d'irrigation sont de bonne qualité, très peu chargées en sel, ces sels peuvent malgré

tout s'accumuler au sein de la zone racinaire à chaque irrigation sous l'influence de l'évaporation (IRD, 2008).

- Si les apports sont réduits par rapport à une forte évaporation, toute l'eau d'apport sera évaporée et les sels dissous s'accumulent irrémédiablement en surface du sol. Des techniques de goutte-à-goutte permettent cependant de jouer sur la répartition de la salinité qui se distribue en auréole autour du point d'apport, en préservant la zone proche du système racinaire de la plante (IRD, 2008).
- Si les apports d'eau d'irrigation sont en excès par rapport à l'évaporation et que ces excès ne s'évacuent pas suffisamment, le niveau des eaux souterraines s'approche alors de la surface. Il menace à son tour, pendant les périodes où l'irrigation est inactive, de contribuer par évaporation à la salinité (IRD, 2008). même si les excès s'évacuent en aval, ils constituent des sources potentielles de contamination salines pour les systèmes d'irrigation en contrebas car si l'eau d'irrigation contient trop de sel en solution, son usage pour la culture de plantes non halophyte est impossible (IRD, 2008).

I-1-5-Classification des sols salés.

Selon Duchaufour (2001), deux sous classes de sols halomorphes sont distinguées:

I-1-5-1- Sols salins (Solontchaks, fluvisols saliques)

Ces sols soumis à l'influence d'une nappe salée peu profonde, riche en sels de sodium neutres (NaCl , Na_2SO_4); ils sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation supérieur à 4 dS/m, un pH inférieur à 8,5 et un pourcentage de sodium échangeable inférieur à 15%. Ces sols présentent aussi une perméabilité égale ou supérieure à celle des sols similaires non salés. Cela est dû à l'action flocculant des sels (Daoud, 1993) Ces sols pauvres en Na, mais riches en sels blancs (chlorures, sulfates, carbonates de Ca^{2+} ou Mg^{2+}); généralement à l'état flocculé, lessivage efficace (Mermoud, 2006).

Deux profils de références sont distingués d'après l'état du complexe absorbant :

A) Sol salin à complexe calcique (Solontchaks haplique, calcique)

- ✓ Contenant à côté des sels sodiques, des sels de Ca^{2+} et Mg^{2+} , caractérisé par une accumulation marquée des sels solubles en surface. Ces sols se rencontrent dans les zones à climat sec. La conductivité électrique de l'extrait aqueux à saturation, est supérieur à 4,5 ds/m à 25°C, dans les horizons de surface (25cm); 15ds/m dans les horizons inférieurs (suivant la texture) (Duchaufour, 1983); avec un taux de sodium échangeable (E.S.P) inférieur à 15% de la C.E.C du sol.

- ✓ Ce sol offre peu de sodium échangeable en général moins de 15 %, la structure reste grumeleuse et aérée, caractérisé par une richesse en sels solubles, tels qu'ils inhibent la croissance de la plupart des plantes cultivées (Aubert, 1978).

B) Sol salin à complexe sodique (Solontchaks sodique)

Ce type se rencontre en bordure de mer, ou dans les lagunes côtières, dont l'eau, très riche en ions sodium ; l'ion Na^+ représente alors plus de 15% (souvent plus de 30%) de la valeur de la CEC : la structure tend à se dégrader et devient poudreuse.

I-1-5-2-Sols alcalins (les solonetz) :

Riches en sodium échangeable (souvent plus de 50% de la C.E.C), sont en revanche pauvres en sels solubles (inférieur à $4\text{ds}_{\text{metre}}$ à 25°C) et une accumulation des sels en profondeur, et le pH est supérieur à 8,5. La relative abondance de l'ion sodium, dans la garniture ionique absorbant, peut avoir deux origines distinctes:

- ✓ Elle peut provenir du sodium libéré par l'altération de certains minéraux alcalins.
- ✓ Processus biologique qu'il résulte d'une réduction de Na_2SO_4 , en milieu anoxique ; ceci produit du sulfure de sodium instable qui, en présence de CO_2 , se décompose en H_2S et Na_2CO_3 .
- ✓ Elle peut résulter d'une saturation progressive du complexe en sodium, aux dépens d'une solution saline (Duchaufour, 1983).

Ces sols ont un profil peu stable, en raison de la grande facilité de dispersion des argiles accompagnée d'une dégradation de la structure, ils sont asphyxiants plutôt que physiologiquement secs.

Tableau 1: Caractéristiques principales des sols salés (Maillard, 2001).

| Caractéristiques | Sols salins | Sols sodiques (alcalins) (les solonetz) |
|----------------------------------|--|---|
| Chimiques | - Dominés par des sels solubles neutres : chlorures et sulfates de sodium, calcium et magnésium | - Peu de sels solubles neutres mais généralement des quantités appréciables de sels capables d'hydrolyse alcaline telle que les carbonates de sodium (Na_2CO_3) |
| | - Le pH de l'extrait de sol saturé généralement de moins de 8,2 (8,7 dans d'autres ouvrages) | - Le pH de l'extrait de sol saturé de plus de 8,2 (ou 8,7) et atteignant souvent 9 ou 10 |
| | - Conductivité électrique à 25°C ; CE >4Ms/cm | - Conductivité électrique à 25°C ; CE <4Ms/cm |
| Physiques | - En présence excessive de sels solubles neutres, la fraction argileuse est floculée et le sol est stable. | - Un excès en sodium échangeable couplé à des valeurs de pH élevées rend l'argile dispersée et une instabilité structurale du sol. |
| | - La perméabilité à l'eau et à l'air de ces sols est généralement comparable à ceux des sols « normaux ». | - La perméabilité à l'eau et à l'air est restreinte. Les propriétés physiques de ces sols s'aggravent avec l'augmentation du pH et du sodium échangeable. |
| Distribution Géographique | - Les sols salins dominent dans les régions arides à semi-arides. | - Les sols alcalins se trouvent principalement dans les régions semi-arides et sub-humides. |

I-2- Salinisation des terres dans le monde et en Algérie.

Les sols salés ont un caractère azonal, ils se rencontrent dans toutes les parties du monde (Servant, 1975 ; Durand, 1983). Les estimations de la superficie totale représentée par les sols salés dans le monde sont très variables d'un auteur à l'autre. Selon (Zid et Grignon, 1991; Hasan, 1995), les sols salés occupent une superficie de 950 millions d'hectares. Il a été estimé que 20% des 275 millions d'hectares des terres irriguées (Flowers et Flowers, 2005) et 15% (227 millions d'hectares) des terres cultivables sont affectés par la salinité (Munns, 2002).

- **En Europe**, entre 1999 et 2007, 6 à 10 % de la SAU est frappée par la salinité (FAO -2007). Les pays les plus touchés (gros producteurs de maïs irrigué): l'Espagne, l'Italie et la Hongrie. Dont 3,8 millions d'hectares de terres trop salines (Problème de la monoculture) (CE -2007).

- **En Afrique du nord et au Moyen-Orient** : Elle couvre près de 15 millions d'hectares, dont 15% sont dépourvus de toute végétation (Le Houerou, 1986 in Baba Sidi-Kaci, 2010). Quinze millions d'hectares de terres agricoles sont touchées par une salinité croissante des sols au Maghreb, au Moyen-Orient (Ben Ahmed et *al.*, 1996) et en Tunisie, les sols salés couvrent environ 10% de la superficie globale du pays, soit à peu près 25% de la surface totale des sols cultivables (Ben Ahmed et *al.*, 2008). En Égypte, 35% des aires cultivées sont salinisées, 90% d'entre elles souffrent d'engorgement (Mainguet, 2003).

- **En Algérie**, les sols salés sont très répandus en essentiellement dans les zones arides et semi-arides (qui couvrent près de **95%** du territoire (Benkhelifa et *al.*, 1999)) représentant environ 25% de la surface (Halitim, 1988) soit 3,2 millions d'hectares (Hamdy, 1999). De façon générale « les sols sodiques en Afrique du Nord proviennent principalement d'une action de la mer ou de la présence de dépôts lagunaires salés et gypseux répartis dans l'échelle stratigraphique depuis le Trias jusqu'au Quaternaire ».

Des travaux effectués par différents auteurs montrent que la majorité des sols agricoles en Algérie sont affectés par les sels (Durand, 1983 ; Halitim, 1985). D'après Szablocs (1989), le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient. Ce phénomène est observé (voir Annexe 01) 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 Sbckhas (Chott Ech Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhah d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazhrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc...). Dans le tableau 2, il est donné un aperçu sur les superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'Ouest du pays.

Tableau 2: LES superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'Ouest du pays.
ONHYD (ex AGID) 2003.

| Périmètres irrigues | Superficies irrigables (ha) | Superficies affectées (ha) | % |
|----------------------------|--|---------------------------------------|----------|
| HAUT CHELIFF | 20 200 | 6 400 | 32 |
| MOYEN CHELIFF | 21 800 | 8 700 | 40 |
| BAS CHELIFF | 22 500 | 15 000 | 67 |
| MINA | 9 600 | 4 190 | 44 |
| HABRA | 19 600 | 8 100 | 41 |
| SIG | 8 600 | 3 200 | 37 |

I-3- Effet des sels sur les propriétés du sol.

La présence des sels dans le sol en quantités élevées peut entraîner la dégradation du sol en affectant les propriétés physiques, chimiques et biologiques.

I-3-1-Effet des sels sur les propriétés physiques du sol.

I-3-1-1- Effets sur la structure.

La structure soit complètement dégradée lorsque la teneur de sodium échangeable est de 15% (souvent plus de 30%) dans les sols salés (Duchaufour, 2001). La fixation des cations, issu de la dissolution des sels, sur le complexe adsorbant entraîne la dispersion des argiles et la destruction de la structure du sol (Duchaufour, 1983). La micro fissuration intense de la surface du sol due aux forces de dispersion entre les particules serait à l'origine de l'apparition de pseudo sable. L'accumulation du sodium au niveau du sol provoque la dispersion des argiles et création d'une croûte de battance. Duchaufour, 1983.

I-3-1-2- Effets sur la perméabilité du sol.

D'après Reeve et *al.*, 1954, Brooks (1956), Gardner et *al.*, 1959, Kemper et Kock (1966) cité par Kedri (1991), l'effet du sodium sur la perméabilité dépend de plusieurs facteurs parmi lesquels, la concentration ionique de la solution du sol, le pourcentage d'argile et la nature minéralogique de celle-ci. Selon (Carel, 1964), les particules du sol se séparent sous l'effet de l'accumulation de sel bouchant ainsi les micros pores du sol. Les sels peuvent aussi cimenter les argiles entre elles qui, une fois humidifiées, gonflent et rendent le sol imperméable Kedri (1991).

I-3-1-3- Effets sur la rétention de l'eau.

Les sols salés peuvent retenir l'eau même en saison sèche grâce à leurs éléments hygroscopiques mais cette réserve en eau n'est pas toujours à la disposition des plantes à cause du potentiel osmotique élevé de la solution des sols (Halitim,1973). D'après Mohamed Hassen (1990), les quantités d'eau retenues dans un sol dépendent autant du niveau de salure et de la nature du sel que de la texture et de la porosité de celui-ci.

En effet, la rétention en eau augmente en fonction du cation dominant au niveau du sol dans l'ordre suivant : $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ (Lahrech, 1981).

I-3-1-4- Effets sur le potentiel osmotique.

La salinité accentue les effets de la sécheresse en limitant le prélèvement de l'eau par la plante par réduction de la différence des potentiels osmotiques entre la solution du sol et la plante. A un potentiel matriciel donné du sol, la plante a d'autant plus de difficulté à s'approvisionner en eau que le potentiel osmotique est élevé puisque :

$$\text{Potentiel Total} = \text{potentiel matriciel} + \text{potentiel osmotique}$$

Pour atteindre un même potentiel Total, la quantité d'eau à apporter est d'autant plus grande que le potentiel osmotique est élevé. D'après Imalet (1979), l'absorption des ions minéraux est en fonction de phénomène d'osmose qui met en jeu les différences de concentrations entre le milieu intérieur (suc vacuolaire) et le milieu extérieur (la solution du sol). L'élévation de la pression osmotique de la solution du sol influe sur la nutrition minérale de la plante. Cette dernière a du mal à prélever sélectivement les ions nécessaires à sa croissance en aboutissant à un flétrissement. D'après Duthil (1973), la pression osmotique est proportionnelle à la concentration en molécules et en ions libres, elle est reliée à la conductivité électrique à 25°C. Selon Boulaine (1981), la conductivité électrique est liée à la pression osmotique ainsi qu'à la nature du sel par la formule suivante :

$$\text{PO} = \text{K} \cdot \text{CE}$$

Avec :

- PO** : Pression osmotique en atmosphère.
- CE** : Conductivité électrique en mmhos/cm à 25 °C.
- K** : Coefficient de proportionnalité, il varie suivant la nature du sel :
 - Il est de : 0.35 pour le NaCl, 0.30 pour le Na₂SO₄ et pour le MgCl₂,
 - 0.28 pour le MgSO₄.

Le tableau 3, montre à titre d'exemple des relations entre concentration en sel, pression osmotique et conductivité électrique. Nous pouvons noter la plus forte pression osmotique des chlorures par rapport aux sulfates pour une concentration en sels cependant inférieurs.

Tableau 3: Les relations entre concentration en sels, pression osmotique et conductivité électrique pour des solutions salines différentes.

| Nature des solutions | Concentration | | Pression osmotique (En atmosphère) | Conductivité électrique (En mmhos/cm) |
|---|---------------|------------|---------------------------------------|---|
| | g/l | Meq / l | | |
| -Chlorure de sodium. | 1.40 | 22 | 1.0 | 2.8 |
| -Sulfate de sodium. | 2.56 | 36 | 1.0 | 3.2 |
| -Extrait d'un sol faiblement salé à 2 g/Kg (dominance Cl). | 1.90 | 37 | 1.05 | 3.0 |
| -Extrait d'un sol fortement salé à 10 g/Kg (dominance Cl). | 10.25 | 201 | 5.6 | 16 |

I-3-2-Effet des sels sur les propriétés chimiques du sol (effet sur l'équilibre ionique du sol).

Selon Durand (1983), les quantités excessives de sels solubles au niveau du sol modifient son équilibre ionique qui devient ainsi défavorable à toute culture. D'après Bernstein (1975), un sol n'est vraiment fertile que lorsqu' il présente un certain rapport entre les éléments minéraux qu'il renferme. Les fortes concentrations en Na^+ 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. Ce phénomène a été observé chez le riz (Levitt, 1980 in Haouala et al., 2007) et la canne à sucre (Nimbaikar, Joshi, 1975 in Haouala et al., 2007). Dans le cas de haricot, cette absorption peut complètement s'arrêter (Hamza, 1977 in Haouala et al., 2007). Néanmoins, le Na' peut, dans certains cas, augmenter l'absorption en K^+ quand il se trouve à faible concentration.

I-3-3-Effet des sels sur les propriétés biologiques du sol.

Selon Durand (1983), les sels ont une action inhibitrice de l'activité des micro-organismes du sol notamment sur l'activité des bactéries nitrifiantes ce qui nuit à la fertilisation du sol. L'activité microbienne est bloquée malgré qu'elle soit nécessaire à la vie du végétale.

Seules les plantes halophytes résistent à ce phénomène (Boukhatem, 1987). D'après Grillot (1957) in Djazzar (1994), les sels diminuent d'une manière générale la fertilité naturelle des sols en inhibant la croissance et l'activité des populations microbiennes, beaucoup d'entre elles sont indispensables à l'agriculture et exigent un milieu proche de la neutralité.

I-4-Lutte contre la salinisation des sols.

I-4-1- Lutte contre la salinisation des sols liée à l'irrigation

La prévention par le drainage des terres irriguées permet d'éviter la concentration des sels qui diminueraient les potentialités productives de terres irriguées mais génère des effluents qu'il faut gérer. Les externalités associées à la salinisation ne sont pas immédiates; en général, il faut au moins une décennie pour qu'elles se manifestent (baisse des rendements...). La réhabilitation des terres salinisées. Cette opération est coûteuse, elle peut représenter de 65% à 100% des coûts d'investissements. Elle est parfois impossible techniquement. Lorsque l'eau d'irrigation utilisée est saumâtre, les solutions curatives possibles sont :

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

I-4-2- Lutte contre la salinisation des sols liée à la remontée de la nappe phréatique.

Selon (Bouchoukhi, 2009), elle se fait par l'abaissement du niveau de la nappe grâce à :

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

I-4-3 - La phytoremédiation

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

champignons) pour le nettoyage d'un environnement pollué. La phytoremédiation comprend plusieurs techniques : la phytoextraction, la phytovolatilisation, la phytostabilisation, la phytodégradation et la rhizofiltration (Aoun, 2009).

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

A titre d'exemple, une approche réalisée en Tunisie a consisté à déterminer les effets de la pré-culture des halophytes sur la croissance de glycophytes sur le même sol. Les sols ayant servi à la culture des halophytes seront utilisés pour cultiver des glycophytes. Trois plantes ont été retenues. L'orge, glycophyte tolérante, succèdera aux halophytes. On utilisera par la suite une légumineuse fourragère, *Medicago sativa*, espèce moyennement sensible au sel et enfin le Haricot ou le Pois Chiche, réputés très sensibles au sel. La comparaison des croissances des plantes cultivées sur les deux types de pots (témoins, et support des halophytes dans l'expérience précédente) permettra d'évaluer l'efficacité biologique de ce procédé de désalinisation. Des dosages de Na^+ et Cl^- dans les différents organes permettent éventuellement d'évaluer l'effet des changements attendus de disponibilité de ces ions entre les deux sols. Les résultats ont montré que sur la base de plusieurs paramètres (croissance, nutrition minérale et hydrique), les plantes cultivées sur sols salinisés ayant servi au préalable aux cultures des halophytes sont significativement plus productives par comparaison (Abdelly, 2006).

II- Le stress salin et la plante.

II-1- définition du 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), à partir du grec stasis (état position) et homoios (égal, semblable à). Il y inclura en outre la notion de stress. 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. D'une façon plus générale, on peut dire qu'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) ;
- ✓ Les stress abiotiques (qui sont dus principalement à des facteurs environnementaux).
(Levitt, 1980).

II-2- définition du stress salin.

Le stress salin est un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- (Hopkins, 2003). Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels de potentiels hydriques. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu "physiologiquement sec (Trembun, 2000).

La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées (Levigneron et *al.*, 1995). Toutes les plantes ne sont pas égales face au stress salin, suivant leur production de biomasse en présence de sel, quatre grandes tendances ont été discernées (voir la figure 01).

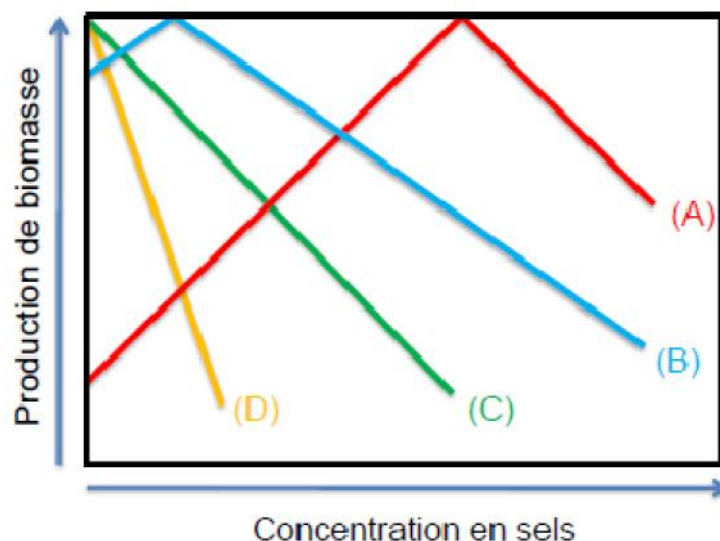


Figure 1: Production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité

(A): Halophytes vraies (B): Halophytes facultatives (C): Non halophytes résistants

(D): Glycophytes (Hagemeyer, 1996 cité par Jabnoune, 2008)

Suivant le graphe, on peut distinguer :

- ✓ **Halophytes vraies:** dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sel. Ces plantes (*Atriplex sp.*, *Salicornia sp.*, *Sueda sp.* ...) présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par la salinité du sol.
- ✓ **Halophytes facultatives:** présentent une légère augmentation de biomasse à des teneurs faibles en sels: *Plantago maritima*, *Aster tripolium*....
- ✓ **Non halophytes résistants:** supportent de faibles concentrations en sels : *Hordeum sp*...
- ✓ **Glycophytes ou halophobes:** sensibles à la présence de sels: *Phaseolus vulgaris*....

II-3- Effets du stress salin sur la plante.

Le stress salin a un triple effet : il réduit le potentiel hydrique, cause un déséquilibre ionique (ou des perturbations en homéostasie ionique) et provoque une toxicité ionique, qui conduit à une croissance réduite et limitation de la productivité végétale. Depuis que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique (Hayashi et Murata, 1998 in Parida et Das, 2005), l'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol (Greenway et Munns, 1980 in Parida et Das, 2005). Durant le début et le développement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétiques... sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress. (Parida et Das, 2005).

II-3-1- Effet de la salinité sur la germination.

Les semences des glycophytes et des halophytes répondent de la même manière au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées et en accusant un retard dans l'initiation du processus de la germination (Ismail., 1990 in Lachiheb et *al.*, 2004). Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique :

- Les effets osmotiques se traduisent par l'inaptitude des graines à absorber des quantités suffisantes en eau pour les ramener à leur seuil critique d'hydratation, nécessaire au déclenchement du processus de germination,
- Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (Rejili et *al.*, 2006).

II-3-2- Effet de la salinité sur la croissance et le développement.

Le stress salin entraîne des modifications morphologiques, mais c'est le poids de la matière végétale sèche et la longueur des tiges qui rendent compte du milieu de la tolérance ou de sensibilité des plantes au sel (Bekhouche, 1992). Selon Levigneron et *al* (1995), une augmentation brutale de la salinité du sol se traduit par une réduction immédiate de la croissance foliaire. Un retard de croissance important est signalé chez la plupart des glycophytes dès 50 mM/l de NaCl dans la solution du sol. Par contre chez les halophytes leur croissance ne semble diminuer que pour des concentrations beaucoup plus élevées; par exemple chez *Atriplex halimus L.* c'est à partir de 480 mM/l de NaCl que sa production diminue (Brun, 1980). Parmi les manifestations morphologiques des plantes au stress salin, on distingue:

- Une faible ramification, une diminution de la longueur de diamètre, du poids sec des tiges et les racines constatés sur les tomates;
- Un raccourcissement des entre-nœuds et une diminution du nombre de nœuds;
- Une réduction du nombre de feuilles (Hamza, 1977) et de la surface foliaire chez l'haricot avec une diminution de 20% à 40% (Larher et *al.*, 1987).
- La salinité influence également la croissance et la qualité des fruits dont l'aspect (fruits plus petites et nécrosés) et la qualité organoleptique sont modifiés, et dont la valeur marchande devient médiocre (Levigneron et *al.*, 1995).

II-3-3-Effet de la salinité sur le comportement biochimique de la plante.

Un excès de sel dans le protoplasme conduit à des modifications dans la balance ionique, des perturbations des enzymes, membranaires et autres macro-molécules. Ces perturbations entraînent une faible production d'énergie par la phosphorylation et la photorespiration, une assimilation de l'azote est perturbée, et un dérèglement de nombreuses voies métaboliques.

Si la concentration en sel excède le niveau de tolérance de la plante, des perturbations fonctionnelles apparaissent au niveau de la photosynthèse, par effet du sel dans le stroma des chloroplastes qui perturbe le transport des électrons. La glycolyse et le cercle de Krebs sont aussi affectés. 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. Les fortes concentrations en Na^+ affectent particulièrement l'absorption en K^+ . Ce phénomène a été observé chez le riz (Levitt, 1980 in Haouala et *al.*, 2007) et la canne à sucre (Nimbaikar, Joshi, 1975 in Haouala et *ai*, 2007). Dans le cas de haricot, cette absorption peut complètement s'arrêter (Hamza, 1977 in Haouala et *al.*, 2007).

Néanmoins, le Na^+ peut, dans certains cas, augmenter l'absorption en K^+ quand il se trouve à faible concentration.

Chez diverses espèces, plus ou moins résistantes, il a été observé une augmentation des sucres totaux résultant d'un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une forte hydrolyse de l'amidon (Asloum, 1990). Selon Hadjadj (2009), l'accumulation des sucres solubles est importante dans les feuilles des plantes d'*Atriplex halimus* L. et d'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt soumises à un stress salin.

II-3-4- Effets nutritionnels de NaCl sur la plante.

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 ;
- un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions : L'accumulation des ions Na^+ affecte l'absorption de K^+ et ceci en fonction de la concentration du premier élément, cependant, la présence de Na^+ en faible concentration peut augmenter l'absorption de K^+ , tandis qu'une concentration élevée en Na^+ diminue l'absorption de K^+ chez le riz (Levitt, 1980 in Haouala et al., 2007) et la canne à sucre (Nimbalkar, Joshi, 1975 in Haouala et al., 2007). Cette absorption peut même s'arrêter complètement chez le haricot (Hamza, 1977 in Haouala et al., 2007) et le laurier rose (Hajji, 1980 in Haouala et al., 2007) cultivés en présence de chlorure de sodium (NaCl) à 12 g.l⁻¹.
- L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que Ca^{2+} : Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique.

En présence de sel, l'absorption des cations Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} dépasse souvent celle des anions Cl^- , PO_4^- et NO_3^- , ce qui engendre un déficit anionique pour le végétal. Dans les feuilles, les Chlorures (Cl^-) sont toujours accumulés proportionnellement à la teneur globale en sel et en plus grande quantité que le Na^+ (Rahmoune et al., 2000) Le chlore, en entrant en compétition avec le NO_3^- , inhibe dans les plantes sensibles aux sels l'absorption et le transport à longue distance de cet anion vers les parties aériennes et engendre ainsi une carence nutritionnelle qui est estimée par la différence entre la teneur globale en cations majeurs Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et Na^+ et la teneur en Cl^- (Slama, 1986 in Lamzeri, 2007) Le stress salin réduit dramatiquement la fixation de l'azote N_2 et l'activité nitrogenase de nodosités chez les légumineuses herbacées (Räsänen, 2002 in Lamzeri, 2007) Pessaraki et al., (1990) ont montré que le stress salin inhibe la fixation du nitrogène chez trois cultivars de *Phaseolus vulgaris* L.

II-3-5- Stress oxydatif.

Le stress salin cause un déficit hydrique comme conséquence à l'effet osmotique sur les activités métaboliques des plantes. Ce déficit hydrique cause un stress oxydatif à cause de la formation des espèces réactives de l'oxygène comme les superoxydes, les radicaux hydroxyles et peroxyde. Les espèces réactives de l'oxygène (ROS) qui sont le produit des stress hyperosmotique et ionique causent des dysfonctionnements dans la membrane et la mort cellulaire (Bohnert et Jensen, 1996 in Parida et Das, 2005). Les plantes se défendent contre ces espèces réactives de l'oxygène par l'induction de l'activité de certaines enzymes antioxydantes comme la catalase, la peroxydase, la glutathion réductase et le superoxyde dismutase, qui éliminent les espèces réactives de l'oxygène. L'activité des enzymes antioxydantes comme l'ascorbate peroxydase, la glutathion réductase, la monodéshydroascorbate réductase (MDHAR) et la déshydroascorbate réductase (DHAR) augmentent sous les conditions de stress salin chez le blé alors que l'ascorbate total et le contenu de la glutathion diminuent (Hernandez *et al.*, 2000 in Parida et Das, 2005).

II-4- Mécanismes de la tolérance des plantes au stress salin.

La caractérisation physiologique de la tolérance des végétaux à la salinité résulte de processus qui permettent au végétal d'absorber l'eau et les sels minéraux à partir de substrats à faibles potentiels hydriques, mais aussi de vivre en acceptant la présence importante de sodium dans ses tissus; les halophytes, qui accumulent le plus de sodium (Elzam et Epstein 1969, Ruse et Epstein, 1981; in Guerrier, 1984), se signalent ainsi par une forte capacité d'élaboration de composés organiques (Mercado, 1973, Briens et Larhe, 1982; in Guerrier, 1984), ces deux facteurs permettant le maintien d'une haute pression osmotique interne qui favorise les échanges d'eau entre les compartiments externe et cellulaire (Guerrier, 1984).

II-4-1- Exclusion des ions.

La plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne de cellules de la racine. Cependant, cette barrière peut être interrompue, en particulier lors de l'émergence des ramifications de la racine. D'autres mécanismes limitent le passage de sel des racines vers les feuilles mais les gènes qui les gouvernent sont encore largement inconnus (Sentenac et Berthomieu, 2003). Le maintien d'une faible concentration de (Na^+) dans les feuilles peut être dû à un mécanisme d'exclusion qui provoque une accumulation de (Na^+) dans les racines, évitant une translocation excessive aux tiges; mais, il peut être aussi lié à une mobilité élevée du Na^+ dans le phloème.

Cependant, certaines mesures physiologiques concordent pour suggérer l'existence d'une expulsion active du sodium cytoplasmique vers l'apoplasme ou vers la vacuole, protégeant ainsi les équipements enzymatiques du cytoplasme dans les organes aériens (Greenway et Munns, 1980). Lors de ce processus, la plante active un gène dénommé AtHKT1, qui code pour une protéine de transport membranaire assurant le transport des ions sodium dans la sève. Comme ce gène présente des similitudes avec un gène du blé, codant pour le transport du sodium et du potassium, les chercheurs se demandent s'il ne pourrait pas être un jour introduit par le génie génétique dans les plantes cultivées. Ainsi elles pourraient être semées sur des terres moins propices à leur culture. Les racines sont en effet dotées d'une couche cellulaire interne: l'endoderme, qui leur permet de ne pas se laisser envahir par un composé extérieur indésirable (Genoux et al., 2000).

II-4-2 Inclusion et compartimentation des ions.

La compartimentation des ions entre les organes (racines/parties aériennes), les tissus (épiderme/mésophylle), ou encore entre les compartiments cellulaires (vacuole/cytoplasme) est l'un des mécanismes d'adaptation à la contrainte saline (Ouerghi et al., 1998). L'inclusion et la compartimentation est la stratégie la plus efficace pour éviter la toxicité de Na⁺ sur des sites métaboliques dans le cytoplasme (Jebnoune, 2008). La plante utilise en effet le sel pour ajuster la pression osmotique de ses cellules. Elle capte le sel qui parvient aux feuilles, au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires. Les vacuoles étant des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (Sentenac et Berthomieu, 2003).

Aussi, la vacuole se chargerait-elle en sodium grâce à l'action d'un antiport sodium-proton Na⁺/H⁺, lequel serait entretenu par le fonctionnement accéléré des pompes à proton Na⁺/H⁺. L'existence d'un système d'échange Na⁺/H⁺ est largement signalé. Il est alors admis que c'est la performance de stocker le sel dans les parties aériennes qui est déterminante dans le niveau de tolérance au sel des espèces. Des études ont montré que les mouvements de Na⁺ dans la plante sont codés par le gène HKT. Par exemple, la surexpression d'OsNHX1 améliore la tolérance à la salinité chez le riz (Chen et al., 2007 in Jebnoune, 2008). Les mêmes résultats sont obtenus chez *Arabidopsis* (Apse et al., 1999 in Jebnoune, 2008), chez la tomate (Zhang et Blumwald, 2001 in Jebnoune, 2008), chez *Brassica napus* (Zhang et al., 2001 in Jebnoune, 2008).

II-4-3- Sélection des ions

Une étude a montré que NaCl réduit la croissance des plantes de quatre (4) variétés de triticales, probablement en restreignant leur alimentation en eau et en nutriments indispensables. La réponse des triticales à NaCl consiste alors à limiter l'exportation de Na^+ vers les parties aériennes, et à maintenir une très forte sélectivité en faveur de K^+ sur une large gamme de concentrations en NaCl (Bizid et *al.*, 1988). Etroitement lié à l'exclusion de sel, le règlement de la sélectivité d'ions, en particulier le rôle de la discrimination de Na^+/K^+ , reste essentiel dans la capacité de la plante à tolérer le sel. Des niveaux élevés de K^+ dans le jeune tissu d'extension sont associés à la tolérance de sel dans beaucoup d'espèces d'usine (El Hendawy, 2004) Il est donc possible que la discrimination de Na^+/K^+ soit associée à la tolérance au sel.

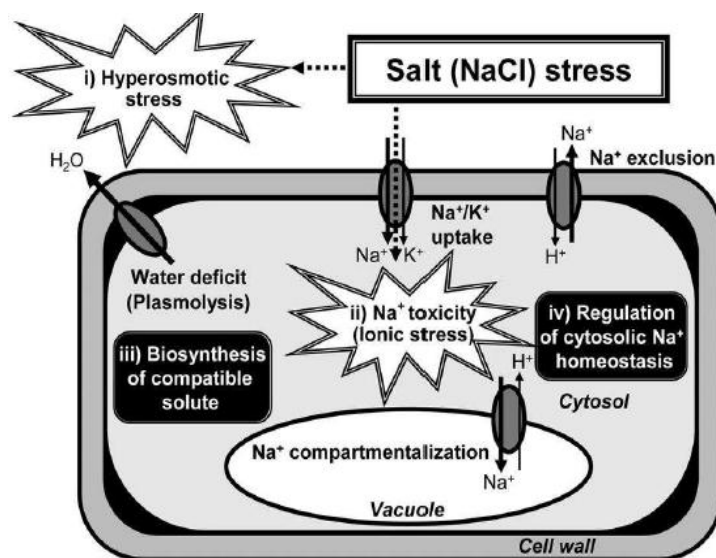


Figure 2: Compartimentation et sélection des ions chez la plante en réponse au stress salin (Mansour et *al.*, 2003 cité in Jebnoute, 2008)

II-4-4- Ajustement osmotique

Face à l'augmentation des forces de rétention de l'eau dans un sol en cours de dessiccation, un ajustement osmotique peut se manifester, mais à des degrés variables, chez la plupart des végétaux. Les métabolites impliqués dans cet ajustement sont assez variés (Tahri et *al.*, 1998). Ces solutés (osmorégulateurs) ont des propriétés physiques et biologiques compatibles, même à forte concentration, avec les fonctions métaboliques conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence. L'accumulation de ces composés a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Cette accumulation varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité. Les différences d'accumulation

des solutés (Acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes (El midaoui et *al.*, 2007).

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation aux stress ionique et osmotique qui s'exprime par la capacité d'un végétal à accumuler, au niveau symplasmique et de manière active des ions tels que les K^+ , Na^+ et Cl^- ou des composés organiques tels les sucres solubles (fructose, glucose, tréhalose, raffinose, fructanes) et certains amino-acides (proline, glycine bétaine, β -alaninebétaine, prolinebétaine). Ce phénomène permet le maintien de nombreuses fonctions physiologique (photosynthèse, transpiration, croissance...) et peut intervenir à tous les stades du développement du végétal. Il permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes, la proline semblant jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosolvacule et de régulation du pH (Hassani et *al.*, 2008).

III- Généralité sur les argiles et la bentonite.

III-1-Définition

Les argiles sont des produits de décomposition des roches siliceuses, par désagrégation physique et mécanique puis par altération chimique. L'argile brute contient généralement des particules élémentaires dont le diamètre des grains est inférieur à deux micromètres ($< 2\mu m$) qui représentent les individus cristallins (phase minérale pure), appelés minéraux argileux responsables de ses propriétés tel que le gonflement, la plasticité, et les propriétés d'adsorption (Chauvel et Monnier, 1967).

Mais dans les sols, ces particules élémentaires sont en général liées entre elles par des ciments de nature très diverse (carbonates, composés organiques, composés minéraux amorphes ou oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium, quartz, feldspaths), au sein d'agrégats de tailles beaucoup plus grandes (Grim, 1953 cité par Amirouche, 2011).

III-2-Propriétés et utilisation

- ❖ Absorption d'eau.
- ❖ Plasticité : déformation souple sous l'effet des contraintes, rôle de couche savon pour glissements des matériaux à toute échelle (glissement de terrain, nappe tectonique).
- ❖ Compaction importante: expulsion d'une grande quantité d'eau. Les pores diminuent, la roche devient imperméable.
- ❖ Le pouvoir adsorbant.

- ❖ Dispersion dans l'eau et floculation: les particules fines restent en suspension dans l'eau agitée; elles décantent dans l'eau immobile avec une vitesse de chute très faible (Loi de Stokes). En eau salée, elles s'agglomèrent (floculation) et précipitent plus rapidement.
- ❖ Intérêt économique :
 - Ciment (avec calcaire).
 - Céramiques: poteries, brique, tuiles.
 - Pharmacie, cosmétique: excipient neutre, absorbant.
 - Pigments: ocre (argiles + oxydes de fer).
- ❖ Les argiles jouent un rôle significatif dans une gamme variée de problèmes environnementaux et les applications augmentent sans cesse. Parmi celle-ci (Missana et Coll, 2004 et Gadelle et Coll, 2001) :
 - Le rôle des argiles dans les sols contaminés dans le transport des isotopes radioactifs et leur réactivité vis -à vis de ceux-ci .
 - Leur rôle vis- à-vis des pesticides et des éléments métalliques dans les sols ;
 - Le rôle de barrière d'étanchéité dans les décharges ;
- ❖ D'autres utilisations reposent sur ses facultés d'absorption (Andrianariso, 1979) :
 - Comme adjuvant pour nourriture animale ;
 - Comme dégraissant et décolorant ;
 - Pour le génie civil : voiles d'étanchéité, injections de ciment ;
 - Pour les boues de forages ;
 - Pour la fabrication des moules de fonderie ;
 - Pour le bouletage du minerai de fer ;
 - Comme additif aux amendements des sols.

III-3-Classification et structure des minéraux argileux.

III-3-1- Structure de minéraux argileux.

Les argiles sont constituées de minéraux dont les particules sont essentiellement des phyllosilicates ; empilements de feuillets bidimensionnels silicatés les feuillets qui constituent le motif de base de ces matériaux, sont formés par l'assemblage d'une ou deux couches de tétraèdres siliceux SiO_4 et d'une couche d'octaèdre alumineux, ferrifère ou magnésiens (2/1 ou 1/1) (figure 3). L'organisation structurale des phyllosilicates est basée sur une charpente d'ions O^{2-} et OH^- (Caillere et *al.*,1982).

Ces anions occupent les sommets d'assemblages octaédriques (O^{-2} et OH) et tétraédrique O^{-2} .

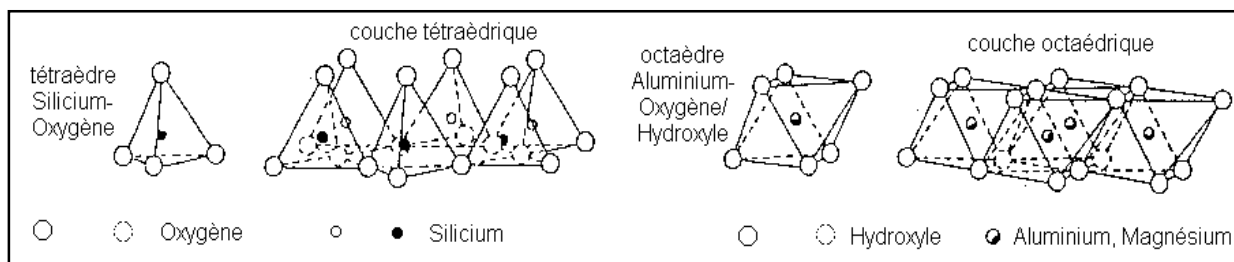


Figure 3: Éléments structuraux : les tétraèdres et les octaèdres

(Maubec, 2010)

Dans les cavités de ces unités structurales élémentaires viennent se loger des cations de tailles variables (Si^{+4} , Al^{+3} , Fe^{+3} , Fe^{+2} , Mg^{+2}) en position tétraédrique ou octaédrique. Ces éléments s'organisent suivant un plan pour constituer des couches octaédriques et tétraédriques dont le nombre détermine l'épaisseur du feuillet. L'espace entre deux feuillets parallèles s'appelle espace inter foliaire. Lorsque deux cavités sur trois de la couche octaédrique sont occupées par Al^{+3} (ou un autre ion métallique trivalent), la structure dénommée dioctaédrique. Quand la totalité des cavités octaédriques est occupée par des ions métalliques bivalents, la structure s'appelle trioctaédrique.

III-3-2-Classification des argiles.

Il existe différentes classifications des argiles. La plus classique est basée sur l'épaisseur et la structure du feuillet. On distingue ainsi quatre groupes (Jozja, 2003) :

1) Minéraux de type 1/1 ou Tet-Oct.

Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche d'octaédrique. L'épaisseur est d'environ 7,1 Å. Ce type correspond le groupe de la kaolinite.

Les feuillets sont à peu près fixes les uns par rapport aux autres et ne peuvent fixer ni eau ni cation dans leurs intervalles; les possibilités de gonflement, le pouvoir absorbant des bases sont donc réduites. Les kaolinites sont donc très résistantes à la chaleur. Pas de substitution dans les couches, le feuillet est neutre. La kaolinite se forme dans les sols bien drainés, par pH acide, surtout en climat subtropical et tropical. Ces cristaux sont souvent grands (jusqu'à 15 μm).

2) Minéraux du type 2/1 ou Tet-Oct-Tet.

Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche d'octaèdre. L'épaisseur varie de 10 à 15Å selon le contenu de l'inter feuillet. A ce type correspondent les groupes du talc, des smectites, des vermiculites et des micas. La capacité d'échange cationique (CEC) élevée varie de 100 à 130 meq/100g d'argile calcinée à 900°C. L'une des argiles la plus connue de cette famille est la terre décolorante, cette argile n'est jamais pure à l'état naturel mais accompagnée d'impuretés minérales (quartz, muscovite, calcite...), des minerais au moins 75% de cette argile porte l'appellation commerciale de bentonite.

3) Minéraux du type 2 /1/1 ou Tet-Oct-Tet-Oct

Le feuillet est constitué par l'alternance de feuillets Tet-Oct-Tet et de couche octaédrique inter foliaire. L'équidistance caractéristique est alors d'environ 14Å, à ce type correspond le groupe du chlorite. Ce groupe comprend plusieurs types d'argiles, également riche en silice, et ses propriétés sont intermédiaires entre celles des deux types précédents.

4) Minéraux inter stratifiés

Il existe bien entendu des minéraux inters stratifiés, formés d'un empilement régulier ou irrégulier de feuillets de deux types différents. Lorsque l'un des feuillets est de type smectites, le comportement peut s'avérer gonflant. C'est le cas de la kaolinite-montmorillonite, la saponite-chlorite, la montmorillonite-mica, l'illite-montmorillonite. Elles sont souvent magnésiennes. Les principaux types sont la sépiolite et l'attapulgite. On les trouve dans les milieux confinés.

III-3-3-Propriétés des argiles.

Les minéraux argileux se caractérisent par trois propriétés principales : leur forme et leur surface spécifique, leur capacité d'adsorption d'eau et de gonflement, et leurs multiples possibilités d'échanges ioniques.

III-3-3-1- Capacité d'échange cationique (CEC).

Les argiles ont la propriété de fixer de façon réversible (échangeable) des cations contenus dans les solutions environnantes. La capacité d'échange cationique (CEC) correspond au nombre de charges négatives susceptible de fixer des cations de cette manière. Elle s'exprime en centi-moles par Kg ce qui est traduit dans le système des unités internationales par des milliéquivalents pour 100g de produit (meq/100g). L'échange de cations n'est possible que s'ils sont retenus par des liaisons faibles sur les surfaces externes

ou internes (zone inter foliaires) des cristaux (Meunier, 2002 cité par Amirouche, 2011). La CEC externe dépend du nombre de sites de fixation des cations sur les surfaces externes (Meunier, 2002 cité par Amirouche, 2011). Aux bordures d'un feuillet, les valences du silicium et de l'oxygène en couche tétraédrique d'une part, de l'aluminium et de l'oxygène en couche octaédrique, d'autre part, ne sont pas saturées. Pour compenser ces valences, des molécules d'eau s'introduisent et il y a apparition de groupes silanol (Si-OH) ou aluminol (Al-OH) qui en fonction du pH peuvent capter ou libérer des protons. Ces derniers peuvent être échangés avec d'autres cations. Le nombre et la nature des charges de bordure de feuillet seront directement liés au pH (Caillere, et *al.*,1982). Langmuir (1997) a montré que les charges de bordure de feuillet prennent une importance plus significative lorsque la taille des particules diminue. Ces phénomènes expliquent environ 20% de la capacité totale d'échange d'une smectite.

Tableau 4: Surface spécifique et C.E.C. de quelques minéraux argileux (d'après Morel)

| Minéral | Surface interne (m ² /g) | Surface externe (m ² /g) | Surface totale (m ² /g) | C.E.C. (milliéquivalent/100g) |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| kaolinite | 0 | 10-30 | 10-30 | 5-15 |
| Illite | 20-55 | 80-120 | 100-175 | 10-40 |
| Smectites | 600-700 | 80 | 700-800 | 80-150 |
| Vermiculite | 700 | 40-70 | 760 | 100-150 |
| Chlorite | - | 100-175 | 100-175 | 10-40 |

La CEC interne reflète le déficit de charge des feuillets 2 /1 ; elle dépend donc des charges permanentes (Meunier, 2002 cité par Amirouche, 2011). La substitution la plus fréquente est celle de Al³⁺ par Mg²⁺ dans la couche octaédrique. C'est le mécanisme principal d'échange pour une montmorillonite. Pour cette argile (Caillere, et *al.*,1982) ,la distance entre les sites négatifs situés au niveau de la couche octaédrique et le cation échangeable situé à la surface du feuillet est telle que les forces d'attraction sont faibles. Des substitutions de Si par Al dans la couche tétraédrique sont également possibles. Les capacités d'échange cationique de la montmorillonite sont les plus important (dans la gamme de 80-150 meq/100g) parmi tout les minerais d'argile en raison de leur substitution isomorphe élevée dans les couches octaédriques et tétraédriques, respectivement, qui a comme conséquence une grande insuffisance ionique (Adams et Evans, 1978 cité in Amirouche, 2011).

III-3-3-2-Propriétés colloïdales.

Cette propriété est d'une grande importance pour les procédés de purification des argiles (Gillot et Jack, 1984 cité in Amirouche, 2011). Elle est liée à la présence de charges négatives à la surface de chaque grain d'argile. Le caractère colloïdal se traduit par le recouvrement de chaque grain d'argile par une double couche d'ions hydrosoluble de charges opposées (Figure 4).

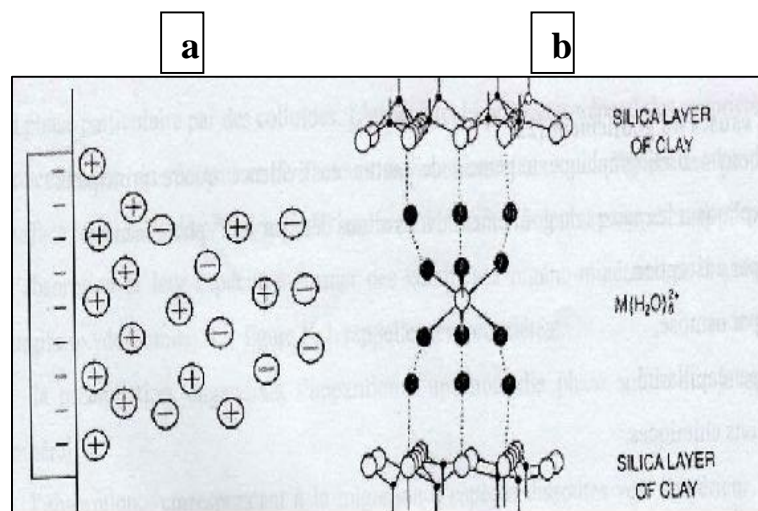


Figure 4: (a) Double Couche Gouy-Chapmann. (b) : Transport des éléments colloïdes (Amirouche, 2011)

III-3-3-3-Gonflement.

Mise en suspension aqueuse, l'argile peut fixer une quantité notable d'eau (c'est plus particulièrement le cas de la montmorillonite) ce qui a pour effet d'écartier les uns des autres, en traduisant ainsi un gonflement. On a deux types de gonflement (Frederic , 2001).

a- Gonflement inter foliaire.

L'eau pénètre à l'intérieur des particules et s'organise en couches mono moléculaires.

b- Gonflement inter particulaire.

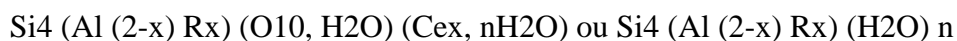
L'eau ne pénètre pas à l'intérieur des particules d'argile. L'hydratation de l'argile est un phénomène réversible, elle peut être séchée ou gonflée à nouveau en gardant ces propriétés. Le degré d'hydratation dépend de la charge du réseau cristallin, de la nature des contre ions, des énergies d'hydratation, la mise en jeu de la force ionique du milieu environnant et de la quantité d'eau totale. Il a pu être établi pour la montmorillonite que le

gonflement allait croissant dans l'ordre suivant des cations compensateurs : Ba^{2+} Ca^{2+} Mg^{2+} Cs^+ NH_4^+ Rb^+ K^+ Na^+ Li^+ (Swartzen et Coll, 1974).

III-4- La bentonite.

III-4-1-Généralité sur la bentonite.

Les bentonites sont des silicates d'alumine hydratés appartenant au groupe des Montmorillonites du groupe smectique de formule brute :



Avec : $R = Mg, Fe, Mn, Zn, Ni$

Ce (cations échangeables) = Ca, Na, Mg .

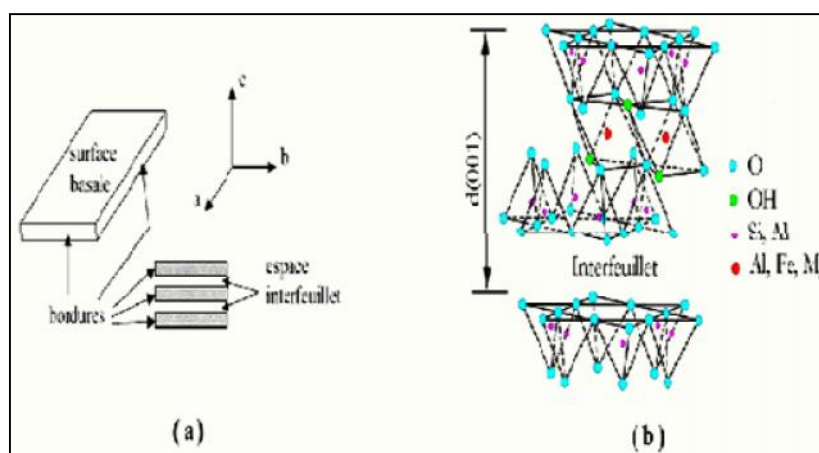


Figure 5: a) : Illustration de l'empilement des feuillets d'argile, montrant les surfaces basales, les bordures des particules, ainsi que les espaces inter feuillets. b) Représentation schématique de l'empilement des feuillets unitaires dans une smectites. (Amirouche, 2011)

III-4-2-Origine de la bentonite.

Les principaux gisements de bentonites sont généralement issus de la transformation en place de cendres volcaniques vitreuses, en milieu aqueux, ou bien proviennent de l'altération hydrothermale de roches volcaniques, 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 (Wyoming, États-Unis). 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) (Deribere et Esme, 1943). Certaines couches d'argiles sédimentaires, suffisamment riches en smectites, peuvent également constituer des gisements de bentonite. Selon leur origine les bentonites présentent des propriétés différentes ; Sur le plan minéralogique la bentonite est un silicate d'alumine

hydraté du groupe des Montmorillonites et qui regroupe de plusieurs types de bentonites et leurs noms dépendent des éléments dominants, tels que K^+ , Na^+ , Ca^{2+} et Al^{3+} . 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**).

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 Bouhrara) 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 (Abdelouahab et *al.*, 1988).

III-4-3-Structure et composition de la bentonite.

La bentonite est une roche tendre, friable, très onctueuse au toucher, de teinte blanchâtre, grisâtre ou légèrement teinté de bleu. C'est une terre douée d'un pouvoir gonflant au contact de l'eau (5 à 30 fois son volume initiale). Elle est constituée, principalement, par un minéral argileux appelé montmorillonite dont la structure est schématisée par la figure 06.

La montmorillonite est composée de feuillets complexes à trois couches, séparés par des molécules d'eau ; c'est une argile douée de propriétés de surface (caractère, affinité pour l'eau, capacité d'adsorption de composés électropositifs,...). Elle est composée de particules plates d'une grande extension latérale de l'ordre de 750 à 800 m²/g. Ces particules sont elles-mêmes constituées d'un empilement de feuillets unitaires formant spatialement une structure de type « jeu de cartes ».

Des substitutions cationiques existent le plus souvent aussi bien dans les couches octaédriques que tétraédriques, entraînant un déficit de charges dans le feuillet, qui devient négativement chargé. La charge élevée de ces argiles est due pour l'essentiel à des substitutions isomorphiques. Cette charge est donc permanente, négative et dépendante du pH. Des cations compensateurs viennent alors se placer dans l'espace inter foliaire pour combler le déficit de charge. Ces argiles ont une capacité d'échange cationique élevée. Des molécules d'eau sont susceptibles de s'insérer dans l'espace inter foliaire et le degré d'hydratation dépend de la nature du cation hydraté et de l'humidité relative. Cette possibilité de « gonflement » des espèces inter foliaires conduit à désigner cette argile par le terme « d'argiles gonflantes ».

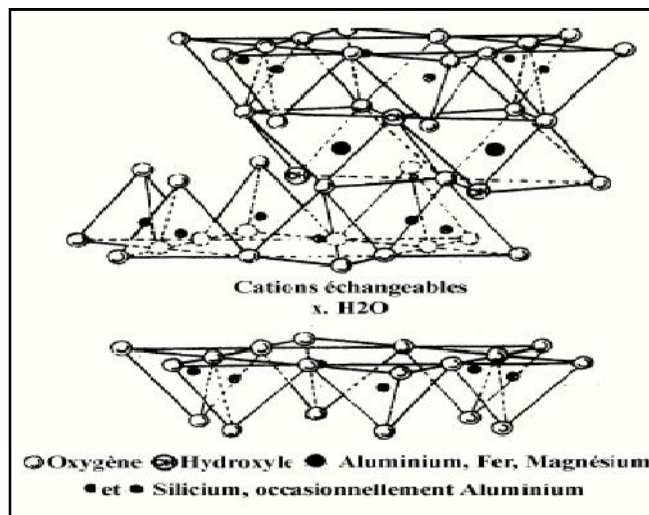


Figure 6: Structure d'une montmorillonite. (Amirouche, 2011).

III-4-4- Bentonite de Mostaganem

Le gisement de bentonite de Mostaganem est situé 37 km au Nord-Est du chef lieu de la wilaya, dans une localité appelée Mzila. La bentonite de Mostaganem destinée généralement à l'industrie pétrochimique. D'après (Bental, 2002), la bentonite de Gisement de Mzila elle est plus sodique, La bentonite Calcique elle a un indice de gonflement faible par contre la bentonite sodique elle plus gonflante. La bentonite est une argile riche en montmorillonite qui présente une capacité d'échange cationiques (C.E.C) élevée et ayant des propriétés de gonflement et de plasticité remarquable.

A- Les Caractéristiques physico-chimiques des argiles bentoniques:

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

Tableau 5: Analyse chimique de la bentonite naturelle utilisée (% en poids) (ENOF, 1997).

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ | 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°06 et n°07.

Tableau 6: Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite de Mostaganem. (Bachir bouiadjra, 2010)

| | Argile% | Limon% | Sable% | CEC (cmolc/kg) | Na/CEC (%) | Surface spécifique (m ² /g) |
|------------------|---------|--------|--------|-------------------|---------------|--|
| Bentonite | 63 | 20 | 17 | 49 | 77 | 347 |

Tableau 7: Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite de Mostaganem (ENOF, 1997).

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

Tableau 8: 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 % |

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).

III-4-5- 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.

III-4-6-Application des bentonites.

Selon (Carretero, 2002), Il existe deux types de bentonites :

- ❖ La bentonite à base de sodium qui augmente de volume lorsque 'elle est humide et qui peut absorber plusieurs fois sa masse en eau. Cette propriété est mise en valeur dans les mastics pour l'enfouissement de matières polluantes dans le sol. Elle est utilisée dans les puits de forage de pétrole et la recherche géothermique.
- ❖ La bentonite à base de calcium (pascalite), qui ne possède pas ces propriétés de gonflement, a des applications parapharmaceutiques (Carretero, 2002) (excipients, pansements gastro-intestinaux,...).
- ❖ Sa grande surface spécifique, de l'ordre de 750 à 800 m²/g est à l'origine de sa capacité d'adsorption considérable (Sigg., 1991).
- ❖ Sa grande capacité d'échange cationique (50 à 150 meq/100g) intensifie les échanges entre les éléments de la solution et le complexe adsorbant du sol (Engelthaler et al., 1983) cette propriété permet de constituer un réservoir nutritif important pour les racines .
- ❖ Une capacité de gonflement qui entraîne de son volume au contact de l'eau un gramme d'argile peut absorber jusqu'à 20 grammes d'eau (Petr, 1985) selon Halilat et Tezier (2006) la teneur en eau retenue par le matériau augmente avec la teneur en argile.
- ❖ Pour le groupe des montmorillonites, Bousnina et Mehiri, 1997 ; et Halilat et Tezier, 2006 notent une nette amélioration des caractéristiques physiques chimiques et hydriques des sols sableux après amendement avec ces types d'argiles.

IV- L'espèce *Phaseolus vulgaris* L.

L'haricot « *Phaseolus vulgaris* L » est une plante annuelle, originaire d'Amérique Centrale appartenant à l'ordre des Fabales et à la famille des Fabacées dont les feuilles sont trifoliées. Le système racinaire est constitué d'une racine principale et de nombreuses racines latérales qui se tiennent horizontales sur 10cm de long. L'état structural du sol influence la profondeur d'enracinement de la plante (de 30cm en conditions défavorables à 1 m dans d'excellentes conditions) et aussi son alimentation hydrique, déterminante pour la croissance de la plante. Une bonne implantation racinaire permet d'éviter des problèmes de flétrissement de la plante en cas de fortes chaleurs. Sur celles-ci se développent des

nodosités formées par des bactéries du genre *Rhizobium*. Ces bactéries fixent l'azote de l'air en puisant l'énergie nécessaire dans les sucres que la plante leurs fournit. Cet azote est restitué à la plante sous forme de composés azotés assimilables. (Renard et al., 2007).

IV-1- Caractéristiques botaniques de l'espèce

| | <u>Classification</u> |
|----------------------|-------------------------------------|
| <u>Règne</u> | <u>Plantae</u> |
| <u>Sous-règne</u> | <u>Tracheobionta</u> |
| <u>Division</u> | <u>Magnoliophyta</u> |
| <u>Classe</u> | <u>Magnoliopsida</u> |
| <u>Sous-classe</u> | <u>Rosidae</u> |
| <u>Ordre</u> | <u>Fabales</u> |
| <u>Famille</u> | <u>Fabaceae</u> |
| <u>Genre</u> | <u>Phaseolus</u> |
| <u>Nom botanique</u> | <u><i>Phaseolus vulgaris</i> L.</u> |



Figure 7: L'espèce *Phaseolus vulgaris* L

- * Nombre de graines au gramme : 2 à 5.
- * Longévité moyenne de la graine : 3 ans.
- * Germination : la levée s'effectue en 3 à 8 jours si la température du sol est suffisante (10°C).
- * **Cycle végétatif : Nain** : 45 à 65 jours
A rames : 55 à 65 jours

IV-2- Climat, eau, sol.

L'haricot est une plante exigeante sur le plan des températures : il craint les gelées et nécessite des températures supérieures à 10 – 12 °C pour se développer. La période de culture du haricot est donc exclusivement estivale. L'eau joue un rôle important pour l'élaboration du rendement et la qualité de la récolte (apparition d'un fil au niveau de la nervure de la gousse si manque d'eau en fin de cycle). La plante n'a pas d'exigences particulières concernant le type de sol mais est sensible aux pH bas (optimum entre 6.1 et 7.4). Un sol bien aéré favorise le développement des nodosités. (Renard et al., 2007).

L'haricot est sensible à la carence en molybdène, en zinc et en manganèse en sol calcaire. Il est également sensible à l'excès de bore et est très peu tolérant à la salinité.

IV-3- Stades phénologiques.

09^{ième} jour : Levée.

12^{ième} jour : 02 feuilles étalées.

15^{ième} jour : Développement de la plante.

51 jours : Formation des boutons floraux.

61 jours: Début de la floraison.

71 jours: Nouaison.

75 jours: Maturation des gousses.

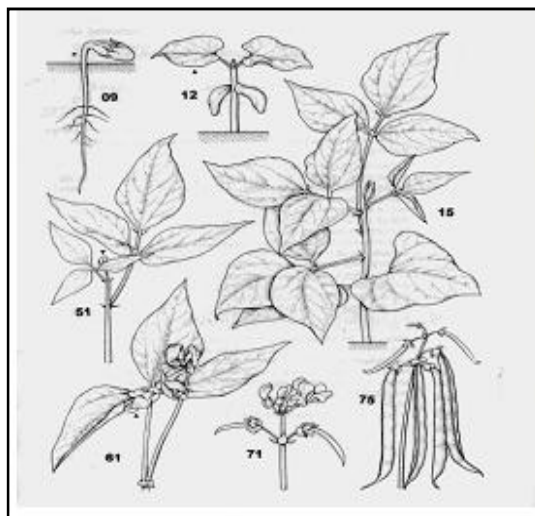


Figure 8 : Stades phénologiques de l'haricot vert. (ITCMI, 2010)

IV-4- Variétés les plus cultivées en Algérie :

- Haricot nain mange tout : Contender, Djedida, Molière.
- Haricot nain à écosser Coco de Prague, Pactole...
- Haricot à rames mange tout : Sidi Fredj, Blanc de juillet.
- Haricot à rames à écosser : Coco blanc, Coco de Prague...

IV-5- Zones de production

Littoral et le sublittoral : Alger, Jijel, Blida, Tlemcen, Tizi ouzou, Bejaia, Oran, Mostaganem.

IV-6- production et importance de l'haricot.

En 2006, la production mondiale de l'haricot, selon les statistiques publiées par la FAO, s'est élevée à 28,6 millions de tonnes, dont 19,6 de haricots secs (68 %), 6,4 de haricots frais (22 %) et 2,6 de haricots verts (9 %). En 2002, ces chiffres étaient respectivement de 25,7, 18,3, 5,7 et 1,7 millions de tonnes. Entre 1961 et 2006, la production totale de haricots a doublé passant de 14,4 à 28,6 millions de tonnes, progressant assez régulièrement au taux de 1,5 % par an. (Anonyme 1).

L'haricot *Phaseolus vulgaris* est une source de protéines diététiques dans beaucoup de pays en développement (Durante et Gius, 1997 in Bayuelo-Jimenez et al., 2002). Quant au

secteur de culture, l'haricot représente la troisième plus importante récolte des légumineuses dans le monde. (Aydin et *al.*, 1997).

IV-7- Sensibilité de l'haricot.

L'haricot *Phaseolus vulgaris* est une plante très sensible à la salinité 2 à 3 mmhos /cm-1 (1,25 à 1,92 g / l). la salinité réduit la croissance des plantes de *Phaseolus Vulgaris* de 25 % La concentration de sel de 100 mMol/l affecte négativement l'activité nitrogénase, ainsi que l'activité de la glutamine synthétase et la glutamate synthase. D'autre part, la réduction en N total des plantes n'est pas significative. L'inhibition des enzymes du catabolisme des purines implique la diminution du contenu nodulaire des uréides et l'augmentation des acides aminés (Khadri et al., 2001). Environ 20 a 30% des régions productives de haricot dans le moyen-orient sont affectées par salinité de sol (Bayuelo-Jimenes et al, 2002b in Gama et *al.*, 2007). Sous de telles situations, on s'attend a un faible rendement car l'haricot commun est extrêmement sensible a la salinité et enregistre des pertes de rendement dans des sols de moins de 2 dsm-1 de salinité (Läuchli, 1984 in Gama et *al.*, 2007).

Cependant, l'haricot et d'autres légumineuses sont considérés comme des cultures appropriées pour le perfectionnement de la bioproduktivité et la récupération des terres marginales, parce qu'elles ne sont pas seulement source de fourrage, les fruits et les graines riches en protéines, mais également connu pour l'enrichissement du sol en azote par l'association symbiotique avec rhizobium (Alexandre, 1984 in Gama et al., 2007). Donc, ils contribuent beaucoup à l'amélioration de la fertilité du sol dans les zones tropicales et subtropicales où la plupart des sols sont déjà salins (Bayuelo-Jimenes et *al.*, 2002a in Gama et *al.*, 2007). La salinité a exercé des effets nuisibles non seulement sur la biomasse, mais également sur d'autres paramètres morphologiques tels que l'hauteur de la plante, le nombre de feuilles, la longueur des racines (Gama et al., 2007). Chez l'haricot, les quatre phospholipides majeurs, appelés : phosphatidylcholine (PC), phosphatidylethanolamine (PE), phosphatidylsérine (PS) et phosphatidylglycérol (PG), ont été analysés. Le contenu de ses phospholipides diminue ou ne change pas comme conséquence sous l'effets du stress salin mais le taux des PC et PE dépend de la concentration du calcium présent dans le milieu (Cachorro et *al.*, 1993).

Dans une étude effectuée sur plusieurs espèces sur le genre *Phaseolus*, la salinité a un effet significatif sur la concentration des tissus en Na⁺, K⁺, Ca²⁺ et Cl⁻ et sur leur vitesse d'absorption, en plus de l'effet toxique des concentrations élevée en Na⁺ et Cl⁻ dans le tissu

végétaux, les changements qui se passent dans les conditions de salinité de l'absorption de nutriments semblent contribuer dans la réduction de la croissance. (Bayuelo - Jimenez et *al.*, 2003). L'addition de 1 μ M de ABA à la solution nutritive avant l'exposition au stress salin réduit l'effet négatif du sel. Il se pourrait que l'application de ABA améliore la réponse de *Phaseolus vulgaris* sous les conditions du stress salin comme le processus de la fixation de l'azote et les enzymes de l'assimilation de l'ammonium et le catabolisme de la purine (Khadri et *al.*, 2006).

Des travaux menés sur la tomate et le haricot sur l'addition d'éléments nutritifs (le fer et des oligoéléments) aux eaux naturelles salines permettent de diminuer l'effet de la salinité en favorisant l'absorption hydrique des espèces étudiées. (Snoussi et *al.*, 2004). On a montré que sur des feuilles de *Phaseolus vulgaris L.* que la salinité (100 mM NaCl) du milieu réduit la capacité photosynthétique indépendamment de la fermeture des stomates. En effet, il apparaît que la salinité entraîne une réduction du pool de ribulose-1,5-biophosphate (RuBP) en influençant sa capacité de régénération. La salinité induit également une diminution de l'activité RuBP carboxylase, lorsque le RuBP est limitant, par un mécanisme inconnu, ne faisant intervenir ni l'inactivation de l'enzyme ni la synthèse d'un inhibiteur. (Seemann et Sharkey, 1986).

L'haricot est une plante sensible, mais pour cette espèce comme pour beaucoup d'autre, l'approvisionnement en calcium additionnel est crucial pour la tolérance à la salinité. (Lahaye and Epstein, 1971 in Munns et *al.*, 2002). La salinité abaisse le potentiel hydrique des racines, et ceci cause rapidement des réductions de taux de croissance, avec une suite des changements métaboliques identiques à ceux provoqués par le stress hydrique (Munns et *al.*, 2002).

PARTIE II:
MATERIELS ET METHODES

DEUXIEME PARTIE: MATERIELS ET METHODES.**I- Dispositif Expérimental.**

L'objectif de cette expérience, vise à comprendre l'effet de l'interaction entre une argile de type bentonite et la salinité chez une légumineuse *Phaseolus vulgaris L.*, âgée de 04 semaines soumise aux stress salin avec différentes concentrations de sel à base de NaCl.

L'étude porte sur l'évaluation de la tolérance de l'espèce *Phaseolus vulgaris L.* à la salinité au stade 5 à 6 feuilles soumises au stress salin par trois traitements à des concentrations de 0, 50 et 100 meq/l de NaCl en présence de bentonite à 00, 07 et 10% dans le substrat de culture « mélange sable/terreau ».

I-1-Matériel végétal

Le matériel végétal ayant fait l'objet de notre étude concerne des graines d'Haricots *Phaseolus vulgaris L.*, la variété qui a été retenue pour notre étude c'est El-Djadida (Haricot nain mange tout).



Figure 9: Le matériel végétal ayant fait l'objet de notre étude : « Les graines d'Haricots *Phaseolus vulgaris L.*, » variété El-Djadida.

I-2- 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 8) et physicochimiques (Tableau 6 et 7) 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 10: La poudre de Bentonite.

L'expérimentation a été menée dans des pots, sous serre semi contrôlée, à l'exploitation de l'université de CHLEF « la station expérimentale de l'institut de l'agronomie de l'Université de CHLEF ».



Figure 11 : Serre semi contrôlé de la station expérimentale de l'Institut de l'Agronomie de l'Université de CHLEF.

Le dispositif expérimental comprend neuf (9) traitements avec 5 répétitions, et l'ensemble constitue 45 pots. Chaque pot contient 1244 g du mélange sable/ terreau avec ou non un pourcentage de la bentonite. Le stress salin, appliqué sur les plantes au stade 5 à 6 feuilles (3 semaines après repiquage) à l'aide des différentes solutions (traitements) préparées, a duré deux semaines. Les plantes sont soumises aux différents traitements de NaCl et de bentonite ;

- Le premier traitement consiste à appliquer les différents pourcentages de bentonite :

T0 : La Bentonite à 0% du substrat (mélange sable/ terreau).

T1 : La Bentonite à 07% du substrat (mélange sable/ terreau).

T2 : La Bentonite à 10% du substrat (mélange sable/ terreau).

- Le deuxième traitement consiste à appliquer les différentes concentrations de NaCl :

t0 : Traitement témoin (solution nutritive) 0 meq/l NaCl.

t1 : 50 meq de NaCl par litre de solution nutritive.

t2 : 100 meq de NaCl par litre de solution nutritive.

Les plantes témoins sont arrosées à la solution nutritive de Hoagland à 60% de la CR du substrat. Pour mettre en évidence la réponse de cette espèce, nous avons étudié les paramètres écophysologiques par le dosage des paramètres physicochimiques tels que TRE, DH, teneur en chlorophylle et en proline et les paramètres minéralogiques (dosage de Na^+ , Ca^{2+} et K^+).

I-3-Préparation du matériel de culture.

I-3-1- Préparation du substrat de culture.

Le substrat de culture utilisé est le sable d'oued de TSIGHAOUT de CHLEF ayant subi:

1. Un tamisage approprié afin de supprimer les différents débris et déchets dans le but d'obtenir un sable fin,
2. Un traitement à l'esprit de sel pour éliminer les carbonates, les chlorures, etc....,
3. Des lavages successifs à l'eau déminéralisée sont appliqués afin d'essayer d'éliminer toute trace de chlore,
4. 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.

I-3-2- Préparation des pots et rempotage du sable.

Des pots en plastiques de 13.5 cm de diamètre et de 13 cm d' hauteur sont remplis par une quantité de 1244 g de mélange sable et terreau (2 volumes de sable / 1 volume de terreau) avec ou non un pourcentage de la bentonite. Les quantités de chaque matériau (sable, terreau et bentonite) mise par pot ont été estimées comme suit :

Tableau 9: Distribution en poids du substrat de culture en mélange sable/terreau et bentonite.

| | Mélange sable/terreau | Bentonite |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------|
| Mélange sable/terreau+00% bentonite | 1244 g | 00 g |
| Mélange sable/terreau+07% bentonite | 1156.92 g | 87.08 g |
| Mélange sable/terreau+10% bentonite | 1119.6 g | 124.4 g |

Cette valeur de poids est retenue pour déterminer la capacité de rétention de ce substrat. Cette caractéristique hydrique est nécessaire car elle permet le calcul des quantités de solution nutritive à apporter lors des arrosages. Avant la mise en pot du substrat, le fond des pots est tapissé d'une couche de graviers afin d'assurer le drainage.

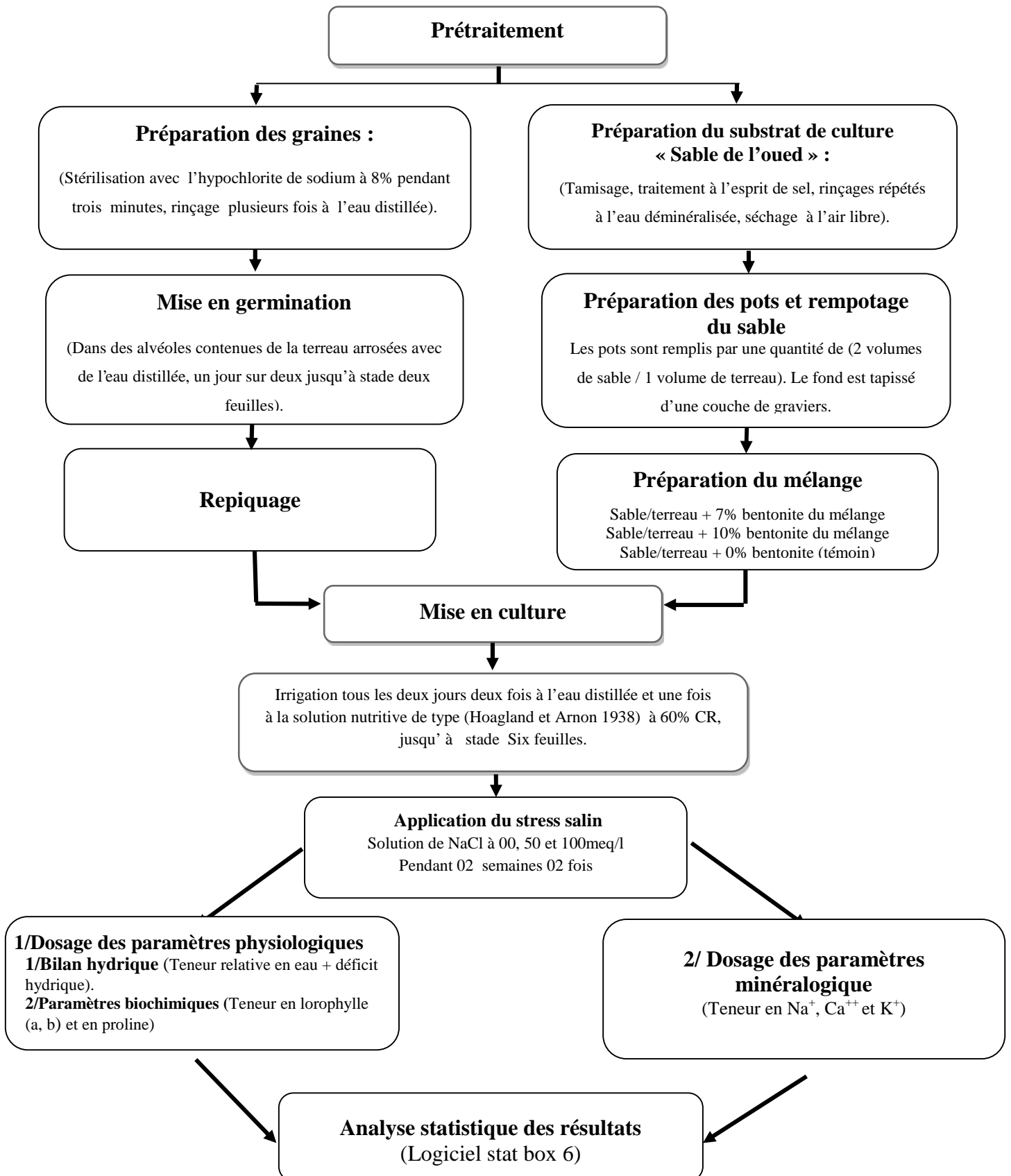


Figure 12: Le protocole expérimental de l'étude « Effet combiné de la salinité et la bentonite sur les paramètres hydriques, biochimiques et minéralogiques chez l'haricot « *Phaseolus vulgaris.L* », variété El Djadida .

I-3-3- Germination

Au laboratoire, les graines sont sélectionnées selon leur morphologie, leur taille, et leur aspect sanitaire (absence de contaminations). Celles-ci sont trempées dans l'hypochlorite de sodium à 8% pendant trois minutes (élimination éventuelle des champignons), puis elles sont rincées plusieurs fois à l'eau distillée. Les graines sont ensuite semées dans des alvéoles pour la production de plantules. Le substrat contenu dans les alvéoles est constitué de terreau, arrosé avec de l'eau distillée, un jour sur deux, pendant 10 jours, jusqu'au développement des plantules « stade deux feuilles ».



Figure 13: La mise à germination des grains de l'haricot sous serre dans des alvéoles remplies de terreau et irrigués avec de l'eau distillée.



Figure 14: Plantules de l'haricot au stade de deux feuilles.

I-3-4- Repiquage.

Au bout de 10 jours après l'apparition des deux premières feuilles, les plantules sont repiquées soigneusement à raison d'une plantule par pot en plastique remplis de 1244 g d'un mélange de sable et de terreau (2V/V) à fond tapissé d'une couche de graviers pour assurer le drainage, déposés sous serre. On procède à une irrigation à 60 % de la capacité de rétention du substrat soit 149.28 ml par pot, après avoir déterminé la capacité de rétention du substrat sol. L'arrosage est effectué 3 fois par semaine, 2 fois à l'eau distillée et une fois à la solution nutritive de type Hoagland et Arnon 1938 diluée au 1/1000^{ième} jusqu' au stade 5-6 feuilles (figure 15).

I-3-5- Préparation des solutions d'arrosage.

1) La solution nutritive.

Au cours de l'élevage des plantes, l'arrosage se fait tous les deux jours à la solution nutritive. Elle se compose d'un ensemble de solutions mères de microéléments et de macroéléments, rapportées dans le Tableau 10.



Figure 15: Repiquage des plantules de l'haricot stade deux feuilles dans des pots en plastique
« 10 jours après la germination »

2) Préparation de la solution saline.

Le NaCl augmente l'absorption de l'eau, mais lorsque sa concentration augmente, il devient toxique. Composition de la solution saline est comme suit :

- Pour préparer une solution de 50 Mmol de NaCl il faut de : 2.93 g de NaCl par 1L de solution nutritive de Hoagland (1938).
- Pour préparer une solution de 100 Mmol de NaCl il faut de : 5.85 g de NaCl par 1L de solution nutritive de Hoagland (1938).

Tableau 10: Composition de la solution nutritive de HOAGLAND (1938).

| Composants | Nomenclature | Poids en g/l |
|---------------------------------|--|--------------|
| Nitrate de potassium | KNO ₃ | 191.90 |
| Nitrate de calcium | (NO ₃) ₂ Ca 4H ₂ O | 129.80 |
| Nitrate d'ammonium | NO ₃ NH ₄ | 210 |
| Sulfate de magnésium | SO ₄ Mg 7H ₂ O | 61.5 |
| Phosphate monopotassique | PO ₄ H ₂ K | 54.40 |
| Di-potassium hydrogénophosphate | PO ₄ K ₂ H 3H ₂ O | 34.23 |
| Chlorure de manganèse | Cl ₂ Mn ₄ H ₂ O | 1.80 |
| Sulfate de cuivre | Cu SO ₄ 5H ₂ O | 0.176 |
| Sulfate de zinc | Zn SO ₄ 7H ₂ O | 0.219 |
| Acide borique | H ₃ BO ₃ | 2.861 |
| Molybdate d'ammonium | MO ₇ O ₂₄ (NH ₄) 7H ₂ O | 0.285 |
| Complexe ferrique | EDTA ferrique (C ₁₀ H ₁₂ FeN ₂ NaO ₈) | 0.050 |

I-3-6-Méthode de calcul de la capacité de rétention

Dans un gobelet perforé à sa base (P0), on met 100 g de sable servant à notre expérimentation (P1), puis on verse l'eau distillée dans ce gobelet jusqu'à saturation. Ce pot est ensuite couvert avec un papier aluminium pour éviter l'évaporation de l'eau et mis sur la paille pendant 48 heures. Après cette durée de temps, le pot est repesé (P2).

Calcul de la capacité de rétention CR pour 100 g de sable :

$$P0 = 4,075 \text{ g}, P1 = 100 \text{ g}, P2 = 123,7 \text{ g}$$

$$CR = (P2 - P1) - P0 = (123,7 - 100) - 4,075 = 19,62 \text{ g} \approx 20 \text{ g}$$

La capacité de rétention pour 100 g de sable est égale 20 ml.

- Calcul de la capacité de rétention CR pour le substrat/ pot (2V sable/V terreau = 1244 g)

$$20 \text{ ml} \quad 100 \text{ g}$$

$$CR \text{ ml} \quad 1244 \text{ g}$$

$$CR = (1244 \times 20) / 100 = 248,8 \text{ ml.}$$

- Calcul de la capacité de rétention à 60 %.

$$248,8 \text{ ml} \quad 100\%$$

$$CR_{60} \% \text{ ml} \quad 60\%$$

$$CR_{60} \% = (248,8 \times 60) / 100 = 149,28 \text{ ml}$$

La capacité de rétention à 60 % est égale 149,28 ml pour 1244 g de substrat.

II- Application du Stress.

Le stress salin est appliqué aux plantes, le vingt-troisième (23^{ème}) jour après repiquage (stade cinq à six feuilles), réparti en neuf (9) traitements de 5 répétitions.



Figure 16 : Application du stress le vingt-troisième (23^{ème}) jour après repiquage (Stade cinq à six feuilles)

Les plantes sont irriguées comme suit :

1. **T0 t0** : Substrat (sable/terreau + 0 % Bentonite) par la solution saline : 00 meq/l NaCl.
2. **T0 t0** : Substrat (sable/terreau + 0 % Bentonite) par la solution saline : 50 meq/l NaCl.
3. **T0 t0** : Substrat (sable/terreau + 0 % Bentonite) par la solution saline : 100 meq/l NaCl.
4. **T1 t0** : Substrat (sable/terreau + 7 % Bentonite) par la solution saline : 00 meq/l NaCl.
5. **T1 t1** : Substrat (sable/terreau + 7 % Bentonite) par la solution saline : 50 meq/l NaCl.
6. **T1 t2** : Substrat (sable/terreau + 7 % Bentonite) par la solution saline : 100 meq/l NaCl.
7. **T2 t0** : Substrat (sable/terreau + 10 % Bentonite) par la solution saline : 00 meq/l NaCl.
8. **T2t1** : Substrat (sable/terreau + 10 % Bentonite) par la solution saline : 50 meq/l NaCl.
9. **T2 t2** : Substrat (sable/terreau + 10 % Bentonite) par la solution saline : 100 meq/l NaCl.

Les plantules sont arrosées tous les deux jours, deux fois à l'eau distillée et une fois à la solution nutritive de Hoagland et Arnon (1938). Après 23 jours passés au-delà de la date de repiquage (stade 5 à 6 feuilles), l'application de stress est effectuée 02 fois pendant 02 semaines à l'aide des différents traitements au NaCl. Les pots témoins sont irrigués à l'eau distillée substituée une fois sur trois par la solution nutritive pendant la période d'application du stress. Cette opération était suivie par les prélèvements d'échantillons de la plante destinés aux différentes mesures et analyses des paramètres étudiés.

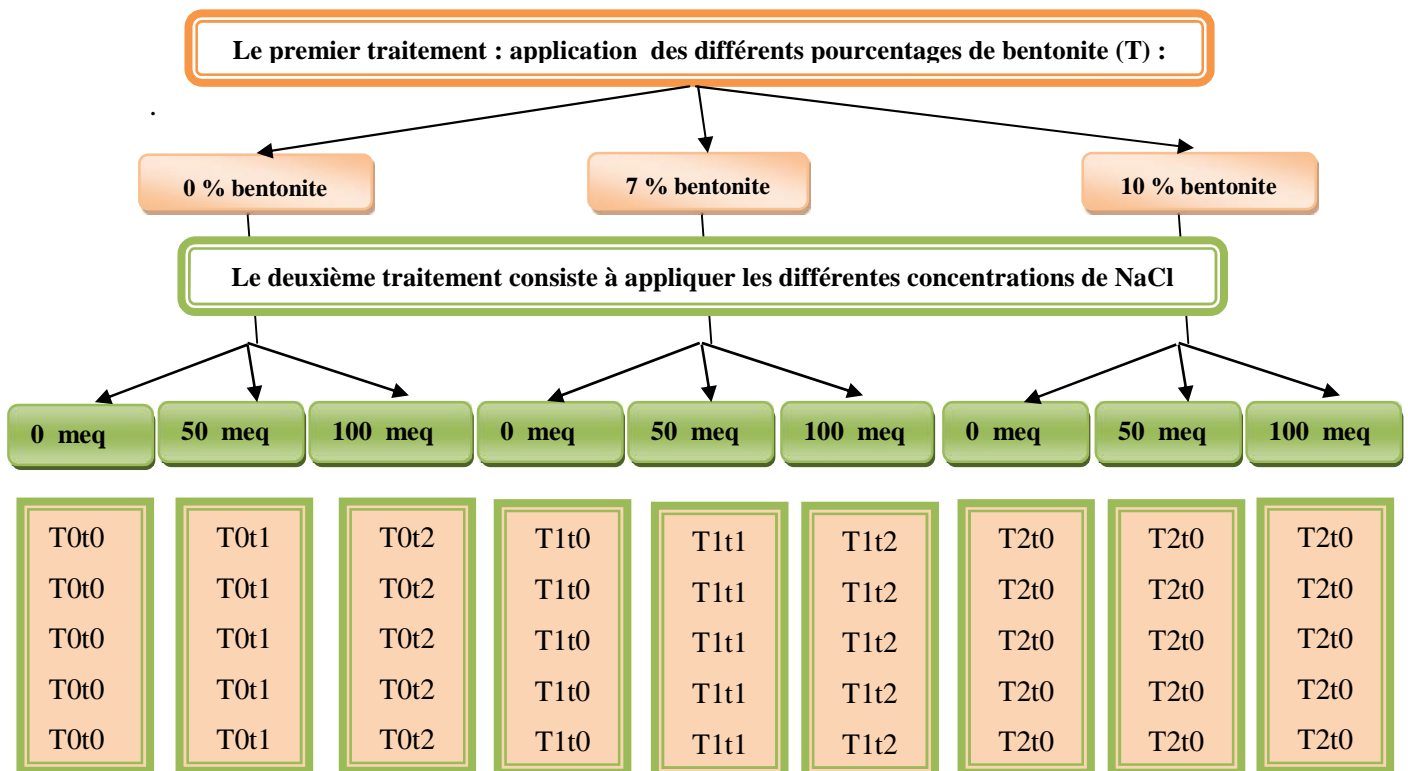


Figure 17 : Schéma explicatif du dispositif expérimental.

III- Paramètres physiologiques étudiés :

Après deux (2) semaines de stress, les plantes sont prélevées. Un rinçage fait aux parties souterraines à l'eau distillée puis séchées rapidement à l'aide du papier Joseph.

III-1- Les paramètres hydriques :

L'état hydrique des plantes peut être mesuré simplement par :

III-1-1-La teneur relative en eau des tissus (TRE) :

Très connu par son sigle anglais : RWC (Relative Water Content). Pour mieux apprécier l'effet du stress salin sur l'alimentation hydrique de l'haricot, il a été réalisé par la méthode de Barrs (1968). Les dernières feuilles bien développées sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF). Ensuite, ces feuilles ont été mises dans de l'eau distillée à l'obscurité et à 4 °C pendant 24 heures, puis pesées de nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PPT). Les échantillons sont enfin séchés à l'étuve à 80 °C pendant 48 heures et pesés pour avoir leur poids sec (PS). La teneur relative en eau des feuilles est déduite par la formule suivante :

$$\text{TRE \%} = [(PF - PS) / (PPT - PS)] \times 100$$

Où : TRE= Teneur relative en eau, PF= Poids sec, PPT = Poids de la pleine turgescence.

Remarque :

- Les valeurs de RWC pour une feuille transpirante sont comprises entre 60 % et 98 %.
- Quand une feuille se dessèche, par suite d'un déficit hydrique, le TRE diminue au même titre que le potentiel hydrique foliaire (si la plante ne procède pas à un ajustement osmotique).

III-1-2-Déficit hydrique, DH :

$$\text{DH} = [(Masse \text{ d'eau à saturation dans le tissu}) - (masse \text{ d'eau actuelle dans le tissu})] / (Masse \text{ d'eau à saturation dans le tissu})$$

La variation de ces paramètres donne une idée du changement relative du volume cellulaire. Si un tissu perd 1g d'eau le volume de l'ensemble de ses cellules, non compris les parois cellulodiques, a diminué de 1ml. Une diminution de 10% du TRE d'un tissu indique que son volume cellulaire a décré d'environ 10%. Cela correspond à une augmentation de 10% du DH. (Gabriel, 2008).

III-2- Les paramètres biochimiques :

III-2-1- Dosage de la chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle a et b est réalisé selon la méthode de Francis et al (1970). Qui consiste en une macération des feuilles (0.1g) dans 10 ml d'un mélange de l'acétone et de l'éthanol (75 % et 25%) de volume et de (80% et 40%) de concentration ; les feuilles sont coupées en petits morceaux et mises dans les boites noires (pour éviter l'oxydations de la chlorophylle par la lumière), 48h plu tard, on procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre, à deux longueurs d'ondes : (645 et 663 nm).

La détermination des teneurs réalisée selon les formules :

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

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

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

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

III-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 Dreier et Goring (1974) et modifiée par Monneveux et Nemmar (1986). 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 dans des tubes à essai et on ajoute 2 ml de Méthanol à 40 %. Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à l'ébullition au bain-marie à 85 °C pendant 60 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'acide acétique et 25 mg de ninhydrine.

Ensuite, on ajoute, dans chaque tube, 1 ml d'un mélange contenant;

- 120 ml d'eau distillée,
- 300 ml d'acide acétique,
- 80 ml d'acide ortho-phosphorique.

On porte les tubes à essai à ébullition au bain Marie durant 30 min.

Après refroidissement des solutions, on ajoute 5 ml de toluène dans chaque tube. Après agitation au vortex deux phases apparaissent. On prélève la phase supérieure à la qu'elle on ajoute 5 mg du sulfate de sodium, puis on les laisse au repos pendant 48h.

On procède à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm. La détermination de la teneur de la proline est réalisée selon la formule:

$$\text{Proline (mg/g MF)} = \text{DO528} \times 0.62$$

III-3- Paramètres minéralogiques étudiés (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 ce fait que:

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

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

Cette méthode CIRAD « Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement », (C.I.R.A.D., 2004) de mise en solution d'éléments minéraux contenus dans un matériel végétal, s'adresse à des matrices à priori pauvres en silice et dont le résidu après passage au four est très réduit. Elle n'est généralement appliquée que pour l'analyse de K^+ , Ca^{++} , Na^+ .

500 mg de matériel végétal préalablement séché, sont introduits dans un creuset en porcelaine. Le creuset est placé dans un four dont la température est augmentée progressivement jusqu'à 500°C et qui est ainsi maintenue pendant 2 heures.

Un pallier est effectué aux alentours de 200°C jusqu'à la fin du dégagement de fumées. Après refroidissement, les cendres sont humectées avec quelques gouttes d'eau distillée puis on ajoute 2 ml d'HCl au 1/2. On évapore à sec sur plaque chauffante. On ajoute une seconde fois 2 ml d'HCl, on laisse en contact 10 minutes et on filtre dans des fioles jaugées de 50 ml.

Après avoir ajusté au trait de jauge puis homogénéisé par agitation manuelle, les solutions sont transvasées dans des godets sur lesquels le numéro de l'échantillon est inscrit. Cette solution se prête aux dosages par spectrophotomètre à flamme pour les trois éléments minéraux à savoir le sodium, le potassium et le calcium.

IV- 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 ».

V- Laboratoire d'analyse :

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

PARTIE III:
RESULTATS ET DISCUSSIONS

PARTIE III : Résultats et discussions.**I- Paramètres hydriques.****I-1- Sans traitement à la Bentonite****A) Détermination de la teneur relative en eau :**

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^{-1} il y a une diminution remarquable avec des teneurs relatives en eau de 65.13%. Et pour le traitement salin de 50 meq.l^{-1} représente une valeur de 71.05%. Par contre les résultats obtenus pour les substrats sans traitement salin montrent une valeur de RWC de 84.29%.

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.

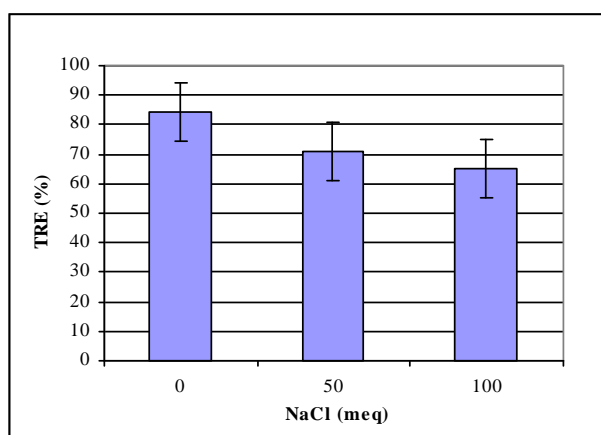


Figure 18 : Teneur relative en eau (%) des feuilles des plantes de *Phaseolus vulgaris L.* cultivées en absence de Bentonite et stressées par la salinité.

B) Déficit hydrique DH :

Les résultats obtenus dans les substrats sans traitement à la Bentonite, montrent que le déficit hydrique aux les feuilles des plantes sans traitement salin est de 16.68%, mais dans le traitement de 50 meq.l^{-1} le déficit hydrique s'arrive à 29.52%, et au traitement de 100 meq.l^{-1} augmente à 45.92%.

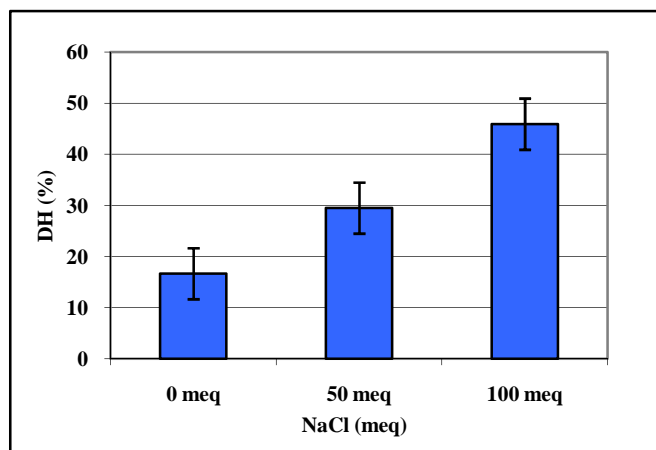


Figure 19 : Déficit hydrique (%) des feuilles des plantes de *Phaseolus vulgaris L.* cultivées en absence de Bentonite et stressées par la salinité.

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.

I-2- A 07% Bentonite :

A) Détermination de la teneur relative en eau :

Le traitement salin des feuilles à 7% de Bentonite améliore la teneur relative en eau des plantes et aussi non stressés (91,15%). Mais l'eau diminue significativement lorsque les plantes reçoivent des solutions salines de 50 meq.l⁻¹ et 100 meq.l⁻¹, les valeurs enregistrées sont de 86.09% et 84.88% respectivement.

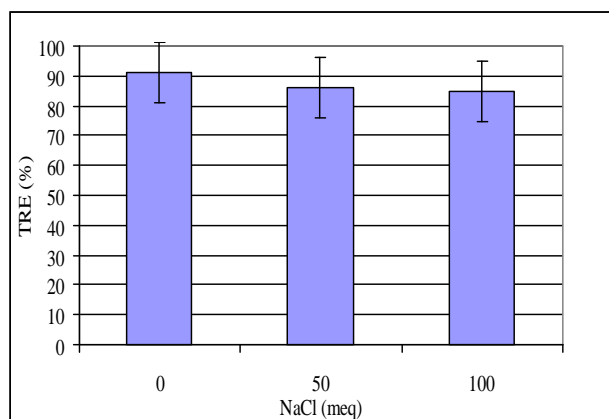


Figure 20: Teneur relative en eau (%) des feuilles des plantes de *Phaseolus vulgaris L.* cultivées à 07 % de Bentonite et stressées à la salinité.

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⁻¹ et 100 meq.l⁻¹ 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.

B) Déficit hydrique DH :

Les résultats obtenus montrent que le déficit hydrique des plantes stressées est sensiblement identique pour les doses salines de 50 meq.l⁻¹ et 100 meq.l⁻¹ avec des valeurs moyennes respectives de 16.74% et 18.91%. Néanmoins le déficit hydrique est nettement inférieur dans les plantes non stressées (13.72%).

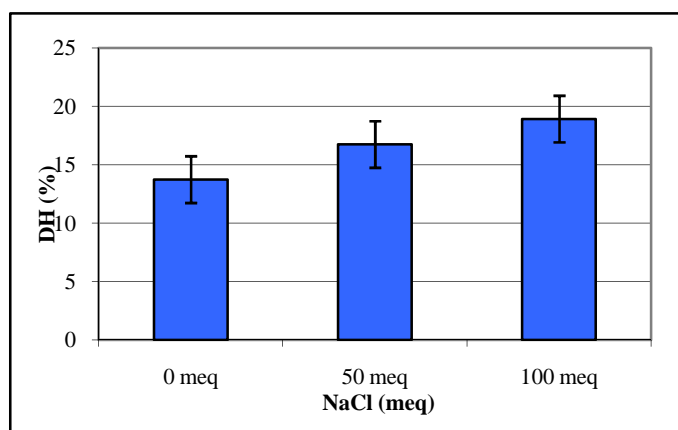


Figure 21 : Déficit hydrique (%) des feuilles des plantes de *Phaseolus vulgaris L.* cultivées à 07 % de Bentonite et stressées à la salinité.

I-3- A 10% de Bentonite :

A) Détermination de la teneur relative en eau :

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⁻¹ (78.34%).

A cet effet, les résultats indiquent que les feuilles n'ayant subit aucun traitement salin retiennent 90.10% d'eau dans leur tissus, cette teneur diminue significativement dans les feuilles des plantes traitées a 50 meq.l⁻¹ avec de valeur de 84.91% d'eau.

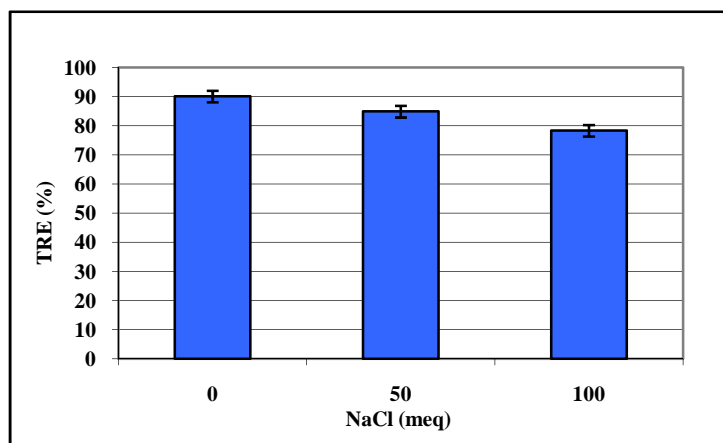


Figure 22: Teneur relative en eau (%) des feuilles des plantes de *Phaseolus vulgaris L.* cultivées à 10 % de Bentonite et stressées à la salinité.

B) Déficit hydrique DH :

Les résultats montrent que les deux concentrations salines appliquées provoquent un déficit hydrique dans les plantes, et ces déficits hydriques sont plus significatifs dans le traitement de 100 meq.l⁻¹ (33.74%) que le traitement de 50 meq.l⁻¹ (17.73%). Et le témoin (11.98%).

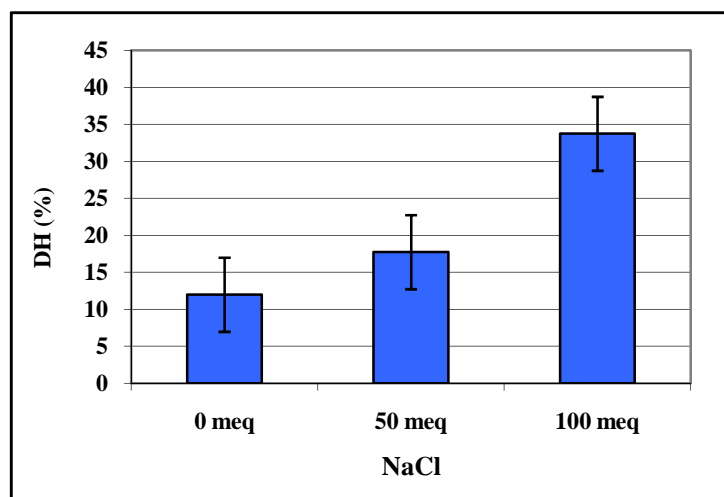


Figure 23: Déficit hydrique (%) des feuilles des plantes de *Phaseolus vulgaris L.* cultivées à 10 % de Bentonite et stressées à la salinité.

Tableau 11 : Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs relative en eau des feuilles de *Phaseolus vulgaris* 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 ⁻¹) | Teneur relative en eau RWC (%) | Déficit hydrique DH (%) |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 00 | 00 | 84.29±0.99 | 16.68±0.26 |
| | 50 | 71.05±0.58* | 29.52±0.5* |
| | 100 | 65.13±0.49* | 45.29±0.93* |
| 07 | 00 | 91,15±0.69 | 13.73±0.24 |
| | 50 | 86,09±0.72* | 16.74±0.43* |
| | 100 | 84,88±0.72* | 18.92±0.47* |
| 10 | 00 | 90,10±0.96 | 11.98±0.46 |
| | 50 | 84,91±0.54* | 17.73±0.37* |
| | 100 | 78,34±0.58* | 33.74±0.53* |

(*) : Effet significatif de la salinité sur le paramètre en étude quand P = 0,05.

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 plantes. Ces taux sont corrélés négativement et significativement avec la salinité ($r = -0.89^{**}$).

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, à cet effet les plantes cultivées en présence de 07% de bentonite enregistrent les meilleures teneurs en eau dans les feuilles et semble faiblement corrélée avec la salinité par rapport au autre dose appliquée ($r=-0.61^*$). 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.

Cependant ; Une diminution significative du déficit hydrique est enregistrée quand les substrats de culture sont traités à 07 et 10% de bentonite. Le déficit hydrique qui témoigne du niveau du stress hydrique auquel sont soumises les plantes.

Dans un tissu bien hydraté les parois squelettiques des cellules sont soumises à une pression : la pression de turgescence. Cette pression maintient la rigidité du tissu ; elle diminue lors d'une déshydratation. (Nana et *al.*, 2010).

On observe des résultats inverses entre le teneur relative en eau et le déficit hydrique enregistré par chaque une plante traitée par la bentonite. 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. Une relation hautement significative et inversement corrélée entre la salinité et la teneur relative en eau. Cette relation nous paraît 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 et par conséquent de déficit hydrique, un potentiel hydrique et une teneur en eau des feuilles supérieures à ceux des plantes traitées à 10% de bentonite, ce qui signifie que moins il y a d'eau dans le sol et plus la plante accumule de l'eau en réduisant sa transpiration. Cela est confirmé par Kaplan et Gate., 1972 cité par Hachemi., 2003.

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. (Belkhodja, 2004)

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

Meloni et al., (2004) ont démontré que l'ajustement osmotique serait accompli par l'accumulation des corps dissous organiques, leurs concentrations augmentent par rapport à l'intensité du stress. D'autres travaux montrent qu'il y a accumulation des composées inorganique.

Parmi les composés organiques et minéraux qui interviennent dans l'ajustement osmotique, on évoque fréquemment les nitrates, le potassium, les acides organiques, les sucres solubles et la proline (Monneveux, 1991). Les ions inorganiques, comme le potassium, expliquent une grande part de la variation du potentiel osmotique foliaire des plantes non stressées où la quantité de solutés organiques est relativement faible. Ces ions n'interviennent pas significativement dans le changement du potentiel osmotique induit par le stress (Kameli et Losel, 1996). Sous stress hydrique, ce sont les sucres solubles, qui contribuent le plus à l'ajustement osmotique (Kameli et Losel, 1996). Pour Qian et al, (2001), l'accumulation du proline responsable au l'ajustement osmotique. La photosynthèse qui est vraisemblablement

la source principale de solutés organiques qui s'accumulent sous stress hydrique (Kameli et Losel., 1996).

II- Paramètres Biochimiques :

II-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 les deux concentrations de 50 meq.l⁻¹ et 100 meq.l⁻¹, on a observé une valeur de 1.838 mg/g pour le témoin non stressée et 1.143 mg/g pour la dose de 50 meq.l⁻¹ et 0.798 pour la dose de 100 meq.l⁻¹.

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

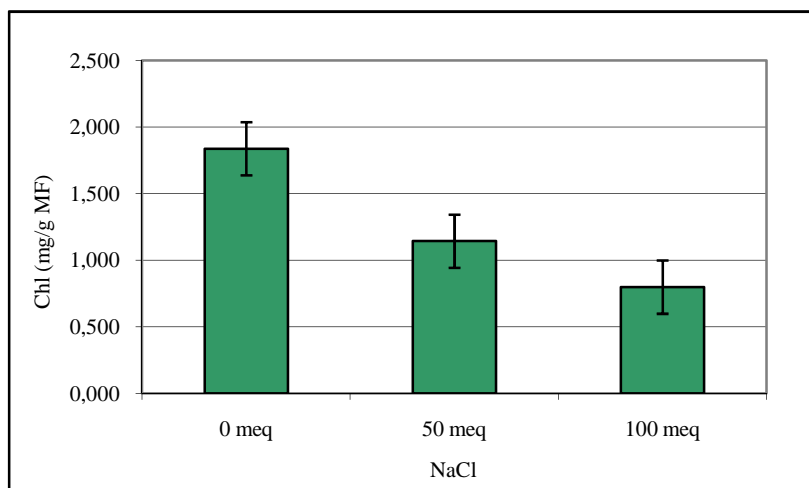


Figure 24 : Teneur en chlorophylle des feuilles des plantes de *Phaseolus vulgaris.L* cultivées en l'absence de Bentonite et stressées à la salinité.

2- A 07% de Bentonite :

Les résultats observés montrent que la teneur de chlorophylle chez les plantes non stressées est plus élevée (2.387 mg/g de MF), puis il y a une légère diminution à la concentration de 50 meq.l⁻¹ (1.374 mg/g de MF) ; mais pour la concentration de 100 meq.l⁻¹ il y a une diminution observable qui atteint à 1.115 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.

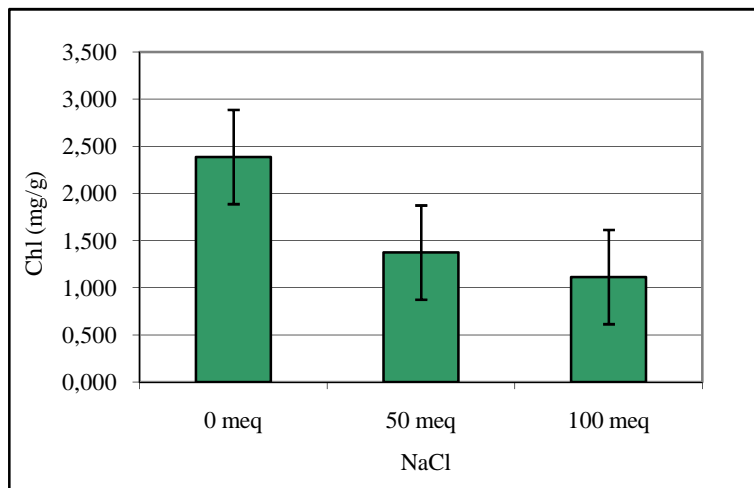


Figure 25 : Teneur en chlorophylle des feuilles des plantes de *Phaseolus vulgaris L.* cultivées à 07 % de Bentonite et stressées à la salinité.

3- A 10% de Bentonite :

Selon la figure il apparaît 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⁻¹ sont les plus affectées (0.735 mg/g de MF). Cette valeur augmente pour le traitement de 50 meq.l⁻¹ (0.987 mg/g de MF) alors que les substrats sans traitement sont les plus élevés (2.390 mg/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.

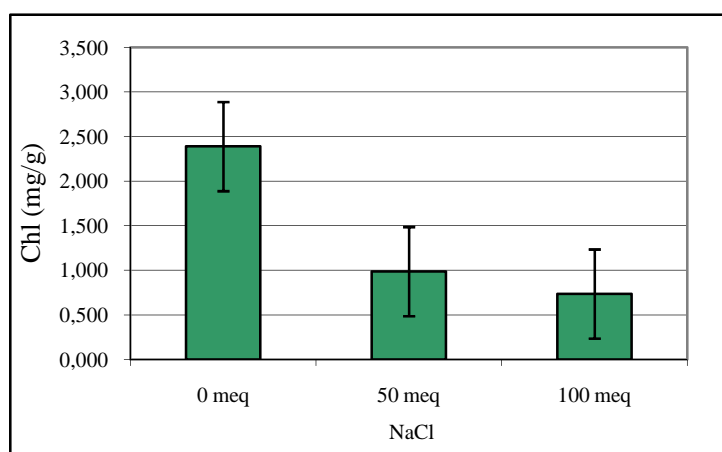


Figure 26 : Teneur en chlorophylle des feuilles des plantes de *Phaseolus vulgaris L.* cultivées à 10 % de Bentonite et stressées à la salinité.

Tableau 12 : Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en pigment chlorophylle de *Phaseolus vulgaris* 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 ⁻¹) | Teneurs en pigment chlorophylle (mg/g deMF) |
|--------------------------|-------------------------------------|---|
| 00 | 00 | 1.848±0.05 |
| | 50 | 1.143±0.08* |
| | 100 | 0.798 ±0.07* |
| 07 | 00 | 2.387±0.04 |
| | 50 | 1.374±0.10* |
| | 100 | 1.115±0.074* |
| 10 | 00 | 2.390±0.06 |
| | 50 | 0.987±0.10* |
| | 100 | 0.735±0.07* |

(*) : Effet significatif de la salinité sur le paramètre en étude quand P = 0,05.

II-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 100 meq.l⁻¹ de NaCl ou on a enregistré 67.02 mg.g⁻¹ de MF. Puis au niveau des plantes soumises à 50 meq.l⁻¹ on a enregistré 46.88 mg.g⁻¹ de MF. Chez le témoin, alors qu'il est plus basse soit 17.10 mg.g⁻¹ de MF. Les résultats statistiques dégagés de l'analyse de variance révèlent que le taux de la proline chez le *Phaseolus vulgaris* dépend de l'effet de salinité, présente un effet significatif.

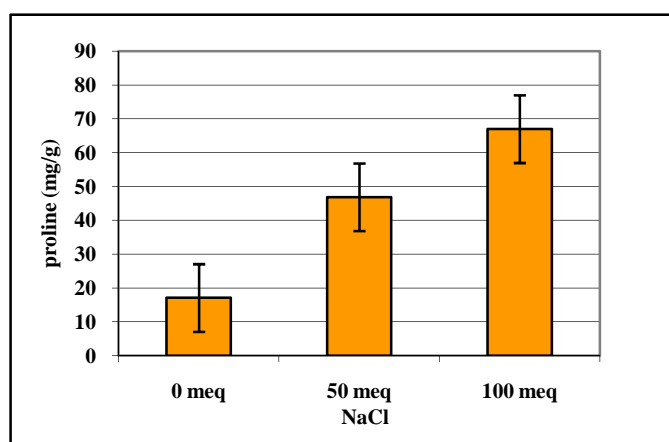


Figure 27 : Teneur en proline (mg/g) dans les feuilles du *Phaseolus vulgaris* L. cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

2- A 07% de Bentonite :

Les résultats obtenues montrent que les plantes soumises à la salinité ont réagi par une forte accumulation de proline foliaire, avec un taux de 30.95 mg.g^{-1} de MF pour la concentration de 100 meq.l^{-1} et un taux de 23.09 mg.g^{-1} de MF à la concentration de 50 meq.l^{-1} . Par contre l'accumulation du proline aux les plantes témoins est le moins important ; 13.91 mg.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.

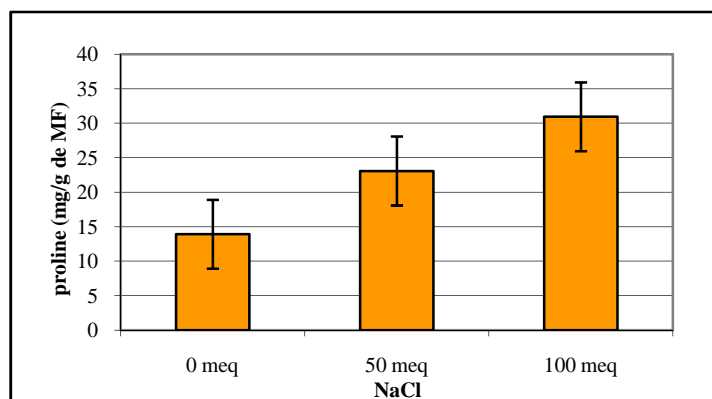


Figure 28 : Teneur en proline (mg/g) dans les feuilles du *Phaseolus vulgaris L.* cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

3- A 10% de Bentonite :

Les résultats observés de l'estimation de la teneur en proline démontrent que chez substrats traitées par la concentration de 100 meq.l^{-1} est le plus élevé correspond 35.08 mg.g^{-1} de MF; cette teneur a diminué de 18.35 mg.g^{-1} de MF au niveau du lot traités a 50 meq.l^{-1} et de 12.22 mg.g^{-1} de MF au niveau du lot témoin. L'analyse statistique démontre des résultats hautement significatifs pour l'impact du NaCl sur la teneur en proline.

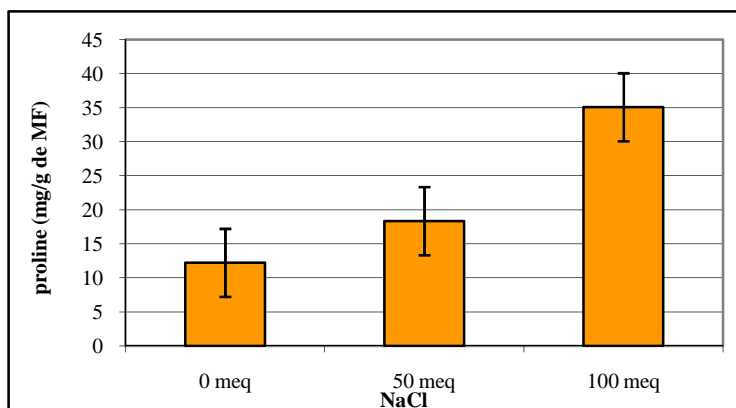


Figure 29 : Teneur en proline (mg/g) dans les feuilles du *Phaseolus vulgaris L.* cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

Tableau 13 : Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en proline des feuilles de *Phaseolus vulgaris 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 ⁻¹) | Teneurs en proline dans les Feuilles (mg/g de MF) |
|-----------------------------|-------------------------------------|--|
| 00 | 00 | 17.10 ±0.67 |
| | 50 | 46.88 ± 0.8* |
| | 100 | 67.02 ±0.56 * |
| 07 | 00 | 13.91 ±0.5 |
| | 50 | 23.08 ±0.65 * |
| | 100 | 30.95 ±0.54 * |
| 10 | 00 | 12.22±0.92 |
| | 50 | 18.35 ± 0.74* |
| | 100 | 35.08 ± 0.54* |

(*) : Effet significatif de la salinité sur le paramètre en étude quand P = 0,05.

DISCUSSION

Les résultats obtenus montrés qu'il y a une augmentation de la quantité de proline foliaire pendant l'application du stress salin. L'excès de sel provoque chez la plante une accumulation de proline. La teneur en proline foliaire des plantes stressées est supérieure à celle enregistrée chez les plantes témoins.

Le taux de proline dans les feuilles 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 ($r=0,65^{**}$) ($r=0,81^{**}$).

Ce résultat est en conformité avec les recherches de plusieurs auteurs dont Monneveux et Nemmar., (1986) ; Bellinger et al., (1991). 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).

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) puisque la disponibilité d'une quantité importante de Proline

peut atténuer de façon significative, directement ou indirectement, l'effet négatif du stress salin sur la fixation de l'azote. (Trinchant et *al.*, 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'accumulation de proline permet la protection de la membrane cellulaire et participe à l'ajustement osmotique, l'augmentation de proline est inversement proportionnelle à la teneur en eau dans les feuilles (Belkhodja, 2004). 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 7% de bentonite et 100 meq l⁻¹ que chez les 50 meq l⁻¹.

Les mêmes résultats ont été observés par Lowlor et Fock, (1978) cité par Amrar (1993).

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. 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- Effet de la salinité sur la teneur en cations :

III- 1-Teneur en Na^+ dans les différents organes :

A-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 $11.71 \mu\text{g}$, qui passe à $14.81 \mu\text{g}$ puis $18.12 \mu\text{g}$ respectivement pour des concentrations salines de 50 et 100 meq.l^{-1} , et pour la teneur de sodium dans les racines on a $38.11 \mu\text{g}$ à 00 meq.l^{-1} , $40.79 \mu\text{g}$ à 50 meq.l^{-1} et $48.76 \mu\text{g}$ à 100 meq.l^{-1} .

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.

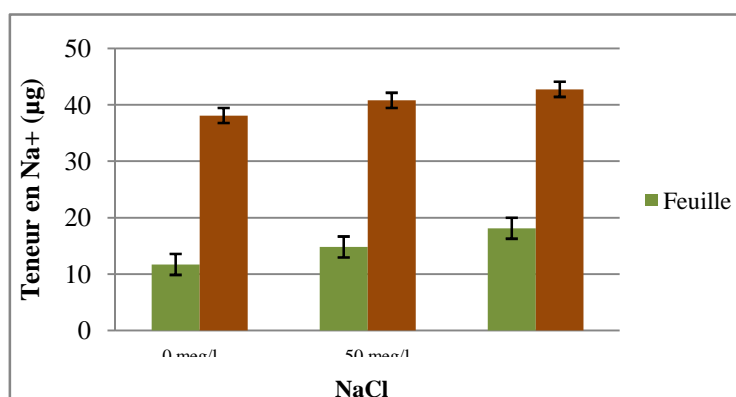


Figure 30 : Teneur en sodium (μg) dans les feuilles et racines du *Phaseolus vulgaris L.* cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

B- A 07% de Bentonite :

Dans les substrats traités par la bentonite à 07%, les teneurs obtenus en sodium deviennent plus élevés comparativement au sol sans bentonite. Il y a un enregistrement de teneur en sodium de 13.73 μg dans les feuilles des plantes non stressées et qui est passé à 16.57 μg et 18.62 μg pour des concentrations salines de 50 et 100 meq.l^{-1} . Par contre pour les racines il a remarqué une sensible augmentation de sodium allant à 41.25 μg au témoin, 43.94 μg à la concentration 50 meq.l^{-1} et 47.07 μg pour 100 meq.l^{-1} .

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

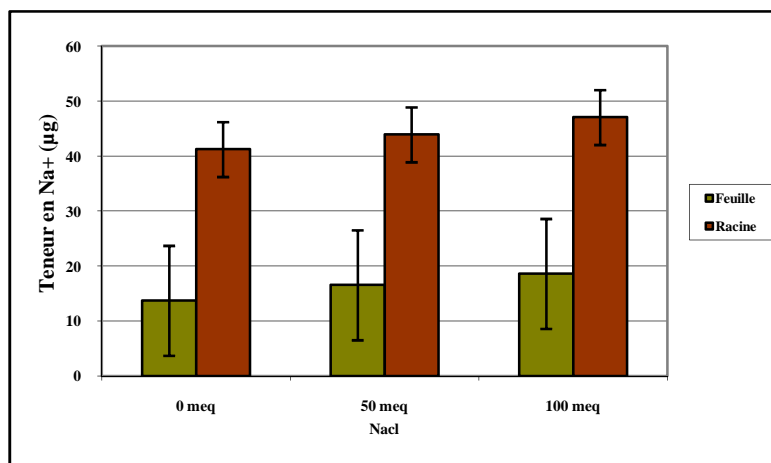


Figure 31 : Teneur en sodium (μg) dans les feuilles et racines du *Phaseolus vulgaris L.* cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

C- A 10% de Bentonite :

Les teneurs obtenues de sodium dans les feuilles sont élevées dans les deux concentrations salines (16.99 et 19.84 μg). Par contre la teneur en sodium pour le témoin est relativement faible (13.51 μg). Nous constatons que les teneurs en sodium dans les racines sont plus élevées comparativement à celle enregistrées chez les feuilles (42.20, 46.16 et 47.37 μg).

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

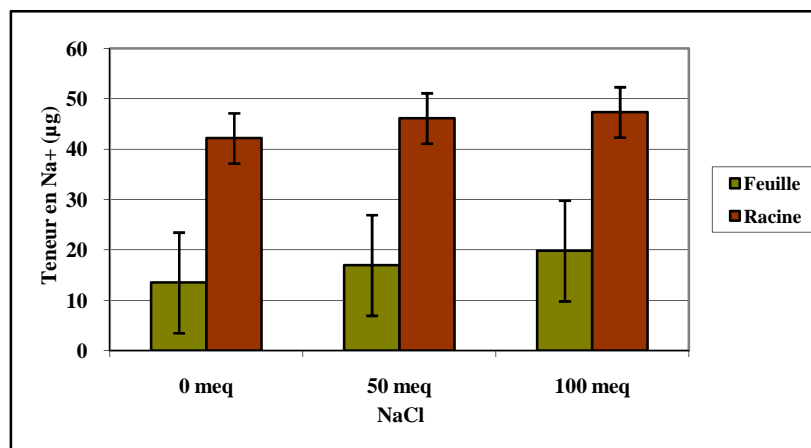


Figure 32 : Teneur en sodium (μg) dans les feuilles et racines du *Phaseolus vulgaris* L. cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

Tableau 14 : Test statistique de signification de Fisher ($P= 05\%$) des teneurs en sodium des feuilles et des racines de *Phaseolus vulgaris* 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^{-1}) | Teneurs en sodium (μg) | |
|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| | | Feuilles | Racines |
| 00 | 00 | 11.71 ± 0.88 | 38.11 ± 0.54 |
| | 50 | $14.82 \pm 0.32^*$ | $40.79 \pm 0.72^*$ |
| | 100 | $18.12 \pm 0.72^*$ | $42.76 \pm 0.87^*$ |
| 07 | 00 | 13.73 ± 0.33 | 41.25 ± 0.58 |
| | 50 | $16.57 \pm 0.62^*$ | $43.94 \pm 0.57^*$ |
| | 100 | $18.62 \pm 0.31^*$ | $47.08 \pm 0.54^*$ |
| 10 | 00 | 13.51 ± 0.36 | 42.20 ± 0.67 |
| | 50 | $16.99 \pm 0.56^*$ | $46.16 \pm 0.45^*$ |
| | 100 | $19.84 \pm 0.52^*$ | $47.37 \pm 0.35^*$ |

(*) : Effet significatif de la salinité sur le paramètre en étude quand $P = 0,05$.

III-2- Teneur en potassium :

A) Sans traitement à la Bentonite :

Les résultats obtenus montrent que les feuilles présentent le niveau le plus élevé avec une valeur de $40.16 \mu\text{g}$.

On observe que les teneurs de potassium dans les organes étudiés diminuent proportionnellement avec la dose de la solution saline. La salinité de la solution d'arrosage entraîne une baisse discrète des teneurs foliaires en K^+ (40.16 μg pour le témoin, qui passe à 35.63 μg puis 33.64 μg respectivement pour des concentrations salines de 50 et 100 meq.l^{-1}) alors que celles des racines paraissent insensibles au sel quelque soit sa concentration (20.78 μg à 00 meq.l^{-1} , 23.18 μg à 50 meq.l^{-1} et 19.68 μg à 100 meq.l^{-1}). D'après l'analyse statistique de la variance au seuil de ($P=5\%$), les charges des feuilles en K^+ sont corrélées significativement et négativement ($r=-0.995$) par contre au niveau des racines cette corrélation est faible ($r=-0.257$).

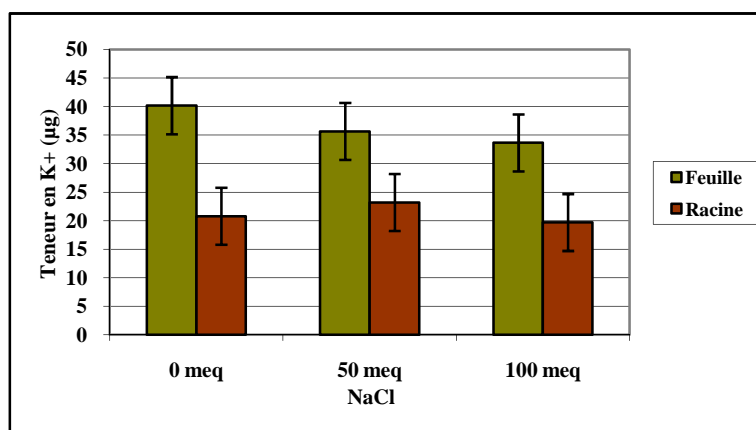


Figure 33 : Teneur en potassium (μg) dans les feuilles et racines du *Phaseolus vulgaris L.* cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

B) A 7% de Bentonite :

Les teneurs foliaire et racinaire ont augmenté significativement et respectivement à 44.14, 47.49 et 49.4 μg dans les feuilles et 28.77, 30.5 et 26.03 μg dans les racines par l'addition de la Bentonite quelque soit la concentration saline. L'analyse de la variance montre une différence significative pour les feuilles et les racines de plantes stressées à celle des témoins.

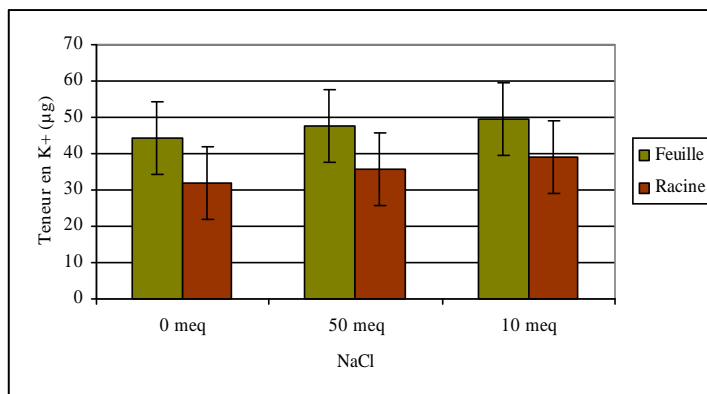


Figure 34: Teneur en potassium (μg) dans les feuilles et racines du *Phaseolus vulgaris L.* cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

C) A 10% de Bentonite :

La teneur en potassium a augmenté significativement et respectivement proportionnellement avec la salinité de 42.31, 44.43 et 49.75 μg dans les feuilles et 28.58, 33.74 et 37.54 μg dans les racines. Les résultats obtenus dans les plantes non soumises au stress salin, montrent que la teneur en potassium est le plus faible par apport aux autres doses (42.31 μg). Et aussi la variation du potassium est moins importante entre les feuilles et les racines quelque soit la concentration saline. Le test statistique montre que les teneurs en K^+ des feuilles et des racines sont fortement et positivement corrélées ($r= 0.761$, $r= 0.875$).

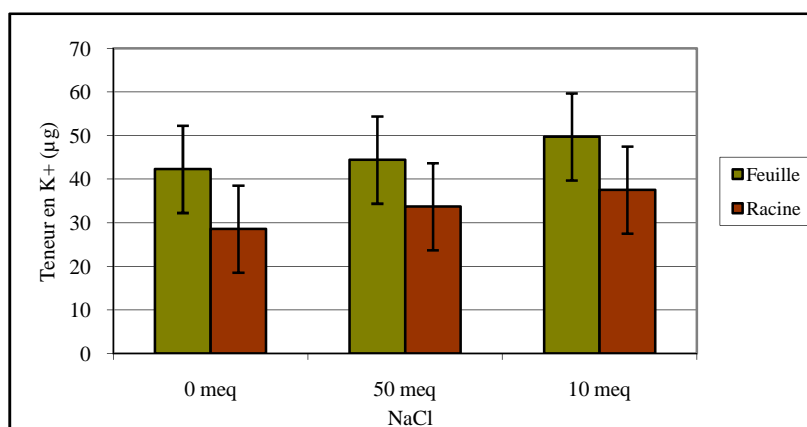


Figure 35: Teneur en potassium (μg) dans les feuilles et racines du *Phaseolus vulgaris* L. cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

Tableau 15 : Test statistique de signification de Fisher ($P= 05\%$) des teneurs en potassium des feuilles et des racines de *Phaseolus vulgaris* 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 ⁻¹) | Teneurs en potassium (μg) | |
|--------------------------|-------------------------------------|--|-------------------|
| | | Feuilles | Racines |
| 0 | 0 | 40.16 \pm 0.4* | 20.78 \pm 0.94 |
| | 50 | 35.64 \pm 0.85* | 23.38 \pm 0.26 |
| | 100 | 33.64 \pm 0.4* | 19.68 \pm 0.51 |
| 7 | 0 | 44.14 \pm 0.67* | 31.37 \pm 0.52* |
| | 50 | 47.49 \pm 0.17* | 35.00 \pm 0.51* |
| | 100 | 49.4 \pm 0.28* | 39.23 \pm 0.24* |
| 10 | 0 | 42.31 \pm 0.20* | 28.58 \pm 0.53* |
| | 50 | 44.43 \pm 0.31* | 33.74 \pm 0.65* |
| | 100 | 49.75 \pm 0.15* | 37.54 \pm 0.34* |

(*) : Effet significatif de la salinité sur le paramètre en étude quand $P = 0,05$.

III-3- Teneur en calcium :

A) Sans traitement à la Bentonite :

On remarque que le niveau du calcium est relativement plus important dans les feuilles. Les teneurs obtenus en calcium dans les plantes du *Phaseolus vulgaris L* cultivés sur substrat non traité de bentonite sont ; 40.98, 32.62 et 27.16 μg pour les feuilles et 20.01, 20.23 et 19.93 μg pour les racines ; donc pour les deux organes il y a une diminution progressive de la teneur en calcium qui est très élevée dans les feuilles : 20% et 33% respectivement pour les concentrations salines de 50 et 100 meq.l^{-1} par rapport au témoin.

D'après l'analyse statistique de la variance au seuil de ($P=5\%$), les charges des feuilles en Ca^{2+} sont corrélées significativement et négativement par contre au niveau des racines cette corrélation est faible.

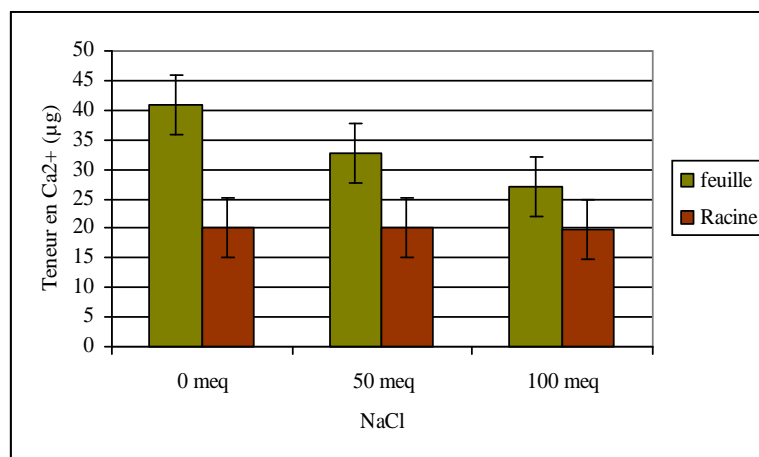


Figure 36 : Teneur en calcium (μg) dans les feuilles et racines du *Phaseolus vulgaris L* cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

B) A 7% de Bentonite :

L'addition du 7% de la Bentonite entraîne une légère augmentation de la teneur en calcium par rapport les témoins des deux organes : 41.4 dans le témoin et 42.62 et 44.41 μg respectivement pour les deux concentrations salines 50 et 100 meq.l^{-1} dans les feuilles et 24.61 dans le témoin et 25.39 μg respectivement pour les deux concentrations salines 50 et 100 meq.l^{-1} dans les racines. Le test statistique montre une faible sensibilité des deux organes pour ce paramètre chez les deux traitements salins.

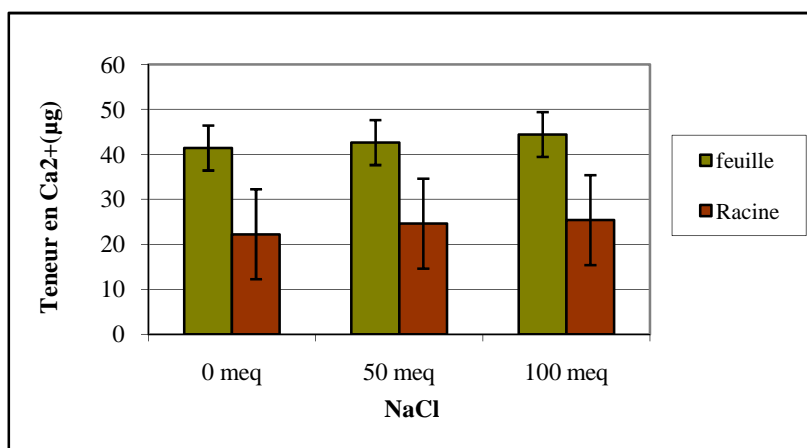


Figure 37 : Teneur en calcium (μg) dans les feuilles et racines du *Phaseolus vulgaris L.* cultivées à 07 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

C) à 10% de Bentonite :

D'après les résultats obtenus, on remarque une faible élévation de la charge en calcium dans les deux organes. Sur NaCl 100 meq.l⁻¹, les charges foliaire et racinaire en calcium atteignent respectivement les valeurs les plus élevées 22.10 et 25.19 μg par rapport le témoin.

Le test statistique apporté pour cette étude montre des différences significatives par rapport les témoins.

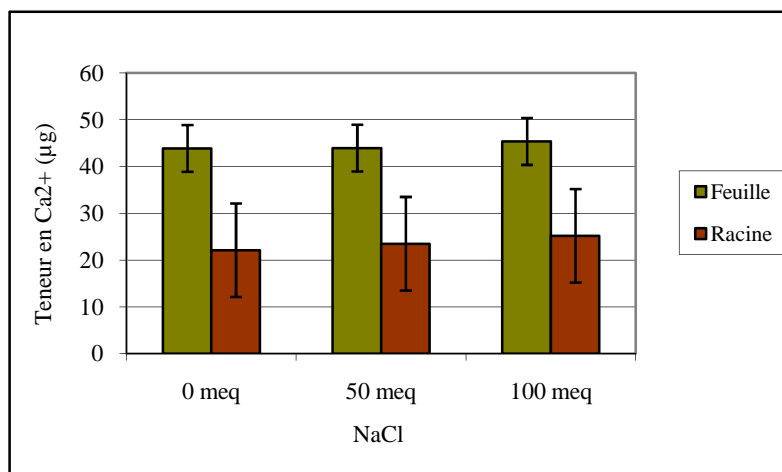


Figure 38 : Teneur en calcium (μg) dans les feuilles et racines du *Phaseolus vulgaris L.* cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

Tableau 16 : Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) des teneurs en calcium des feuilles et des racines de *Phaseolus vulgaris* 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 ⁻¹) | Teneurs en calcium (µg) | |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------|
| | | Feuilles | Racines |
| 0 | 0 | 40.98 ±0.72 | 20.01 ±0.85 |
| | 50 | 32.62 ±0.43** | 20.23 ±0.61 |
| | 100 | 27.16 ±0.62** | 19.93 ±0.41* |
| 7 | 0 | 41.40 ±0.38 | 22.24 ±1.24 |
| | 50 | 42.62 ±1.18* | 24.61 ±0.66* |
| | 100 | 44.41 ±0.42* | 25.39 ±0.35* |
| 10 | 00 | 43.87 ±0.71 | 22.10 ±0.73 |
| | 50 | 43.93 ±0.37 | 23.49 ± 0.2 |
| | 100 | 45.35 ±0.28* | 25.19 ±0.71* |

(*) : Effet significatif de la salinité sur le paramètre en étude quand P = 0,05.

DISCUSSION :

La nutrition minérale se trouve fortement affectée par la contrainte saline. Le sodium s'accumule au niveau des deux organes d'une façon croissante avec l'augmentation de la concentration en sel et l'effet de la salinité sur les variations des teneurs en Na⁺ par rapport le témoin est significatif et nous constatons aussi, que les plantes traitées à la bentonite enregistrent les teneurs les plus élevées à la dose de 100 meq.l⁻¹.

La salinité appliquée a provoqué une augmentation significative des teneurs en sodium dans les deux organes de l'Haricot et en l'absence de bentonite (r = 0,95** et r = 0,97**). L'accumulation de Na⁺ est moindre dans la partie aérienne que la partie racinaire et prend la classe des plantes « excluser ». En générale, 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 espèces incapables de compartimenter Na⁺ dans leurs feuilles sont nettement plus sensibles à la salinité. Ces espèces semblent peu efficaces pour abaisser la concentration cytoplasmique de 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 Na⁺ a pour conséquence que cet ion est facilement transporté dans le phloème de ces plantes

(Zid et Grignon., 1986). L'exclusion continue de Na^+ vers le bas de la plante traduit le comportement d'exclusion.

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 NaCl « Les glycophytes », Na^+ s'accumule dans les racines mais il est exclu des feuilles (Slama, 1986). Ces plantes sont dites « exclure » vis-à-vis de Na^+ . À l'inverse, les plantes tolérantes NaCl sont dites « inclure » car elles ont en général des feuilles plus chargées en Na^+ que les racines lorsqu'elles sont cultivées en présence de sel (Slama, 1986).

La combinaison salinité-bentonite affecte fortement la nutrition minérale en sodium de la plante :

- ✚ Le taux de sodium dans les feuilles et les racines des plantes non stressées est très élevé dans les substrats traités à la bentonite ($r = 0,83^{**}$ et $r = 0,61^{**}$) ;
- ✚ les feuilles accumulent d'avantage le sodium sous l'effet combiné de la bentonite et de la salinité.
- ✚ Les feuilles et les racines des plantes cultivées dans les substrats à 10% de bentonite et stressées accumulent des teneurs les plus importantes que les plantes cultivées dans les substrats traités à 07% de bentonite et recevant la même concentration saline ($r = 0,91^{**}$ et $r = 0,96^{**}$).

Pour le potassium ; les teneurs de cet élément dans les organes étudiés diminuent proportionnellement avec la dose de la solution saline. L'apport des concentrations croissantes de NaCl se traduit par une diminution significative et négative.

Le potassium se compartimente préférentiellement dans les feuilles à des teneurs significativement élevées, lorsque la salinité du milieu augmente, contrairement aux racines, considérées comme organes de transition. Laredj Zazou, (2013). Les charges des feuilles sont corrélées significativement et négativement ($r = -0,959$) par rapport au niveau des racines cette corrélation est faible ($r = -0,322$).

Le plus grand nombre de plantes qui ont déjà été étudiées par d'autres auteurs, montre que l'élément K^+ est négativement corrélé avec l'accumulation de Na^+ . Le taux élevé de Na^+ et un taux faible de K^+ lors du stress salin quel que soit la concentration en sel du substrat met en évidence 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 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 K^+ est corrélée avec la tolérance

au sel (Taleisnik-Gertel et Tal, 1986). L'efficacité d'absorption et d'utilisation du 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 K^+ a été rapporté par plusieurs auteurs (Bizid et al, 1988 ; El Mekkaoui, 1992). Belfakih et al. (2013) expliquent l'augmentation du k^+ dans la partie aérienne (surtout après l'invasion des ions sodium), 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 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).

La charge en potassium s'est accrue progressivement après l'addition de la bentonite qui se traduit par de légères augmentations 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 % de bentonite, accumulent des quantités élevées de potassium sous l'effet de la solution. Elle apparaît 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, une analyse minérale des sols sableux enrichis en bentonite montre une diminution de K^+ échangeable, lorsque le sol traité s'humecte, l'eau pénètre entre les feuillets de la bentonite et ces dernières s'écartent et piègent le K^+ ; ceci implique que la quantité de K^+ absorbée diminue au fur et à mesure que la dose de bentonite augmente (Reguig., 2007).

Pour le calcium, on constate que le sel a un effet négatif sur l'alimentation calcique qui provoque une diminution des teneurs foliaires et racinaires en Ca^{2+} . Un effet hautement significatif des teneurs en Ca^{2+} des deux organes de l'Haricots avec une forte corrélation négative de ($r=-0.995^{**}$, $r= - 0.8^{**}$) au niveau des plantes stressées par rapport aux plantes témoins et ce traitement est fortement significatif et négative au niveau foliaires ($r=-0.855^{**}$), les racines sont moyennement corrélés. D'après Chadli et Belkhodja (2007), le Ca^{2+} s'accumule dans le sens racines tiges feuilles des plantes de la fève stressée au NaCl+CaCl₂ à différents

niveaux de concentrations et à d'eau de mer et la charge calcique est très important dans les tiges et les feuilles.

Bouaouina et al (2000), indiquent que le sel exerce dès la plus faible concentration un effet dépressif sur l'absorption, l'accumulation racinaire et le transport vers les parties aériennes de Ca^{++} chez le blé dur. Ceci pourrait s'expliquer par une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites d'absorption pouvant conduire à des perturbations nutritionnelles notamment la déficience calcique en présence de fortes concentrations salines (Haddad et Coudret, 1991). En condition de concentration externe élevée de sodium, celui-ci pénètre au niveau des cellules racinaire à travers des canaux et transporteurs d'ion non spécifiques provoquant ainsi une dépolarisation électrique au niveau des membranes ainsi qu'une réduction de la turgescence des cellules et un décollement de la membrane plasmique de la paroi son absorption est majoritaire pour les plantes stressée étudiées quel que soit le type du traitement appliqué. 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).

En outre, nous avons constaté 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).

Un supplément de Ca^{2+} corrige dans une certaine mesure l'effet des sels (Rengel, 1992). Il est admis que c'est la performance à stocker le sel dans les parties aériennes qui est déterminante dans le niveau de tolérance au sel des espèces (Levigneron et *al.*, 1995).

D'après ces résultats il semble qu'il existe des interactions particulièrement entre Na^+ et Ca^{2+} , l'association des ions Na^+ et Ca^{++} avec Cl^- dans le milieu sous forme de chlorure diversifier les modalités de migration et les capacités d'accumulation ioniques dans les organes des plantes (Belkhodja, 1996). Le Ca^{++} assure un transport sélectif des cation comme le K^+ (läuchli et Stilter ; 1982) vers les feuilles (Zid et Grigon, 1991) et augmente la résistance à la salinité en maintenant l'intégrité membranaire (Lynch et *al.* ; 1987).

III-4-Étude du ratio K^+/Na^+ selon les organes de la plante :

A) Sans traitement à la Bentonite :

Les feuilles maintiennent un haut ratio K^+/Na^+ dans les conditions normale (3.45) par rapport aux racines (0.54). Ce ratio diminue sous les deux concentrations salines dans les feuilles mais reste en faveur de K^+ (2.41 pour 50 meq.l⁻¹ et 1.68 en 100 meq.l⁻¹). Ce ratio augmente dans

les racines pour les plantes irriguées par eau contenant 50 meq.l⁻¹ de NaCl (0.57) et il diminue dans la concentration saline 100 meq.l⁻¹ (0.46) et reste inférieur à l'unité sous tous les traitements. Le test de Fisher montre une variation statistique significative pour les feuilles et les racines des plantes stressées.

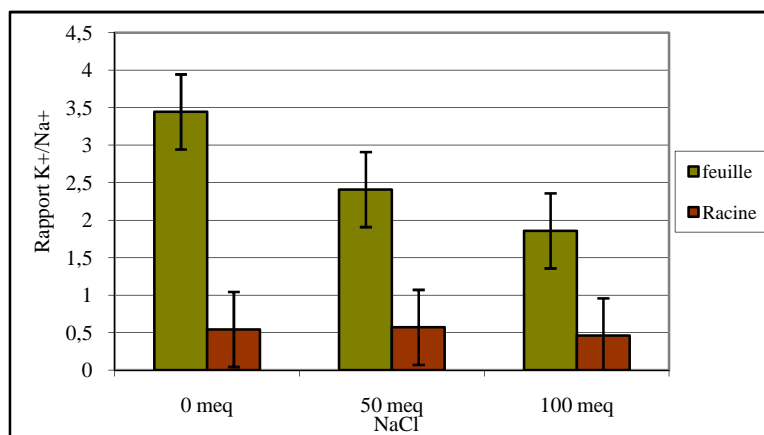


Figure 39 : Rapport potassium/sodium dans les feuilles et racines des plantes de *Phaseolus vulgaris* L. cultivées en l'absence de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

B) A 07% de Bentonite :

Le ratio K^+/Na^+ diminue dans les feuilles proportionnellement avec les différentes concentrations salines (2.87 et 2.65 respectivement dans 50 et 100 meq.l⁻¹) par rapport au témoin (3.22), mais reste toujours en faveur de K^+ . Par contre, le ratio augmente dans les racines significativement à 0.80 et 0.83 respectivement pour les deux concentrations salines 50 et 100 meq.l⁻¹ par rapport au témoin qui est de 0.76 suite à l'addition de la Bentonite sous ces deux concentrations. L'étude statistique montre une variation statistiquement significative pour ce paramètre dans l'ensemble des traitements.

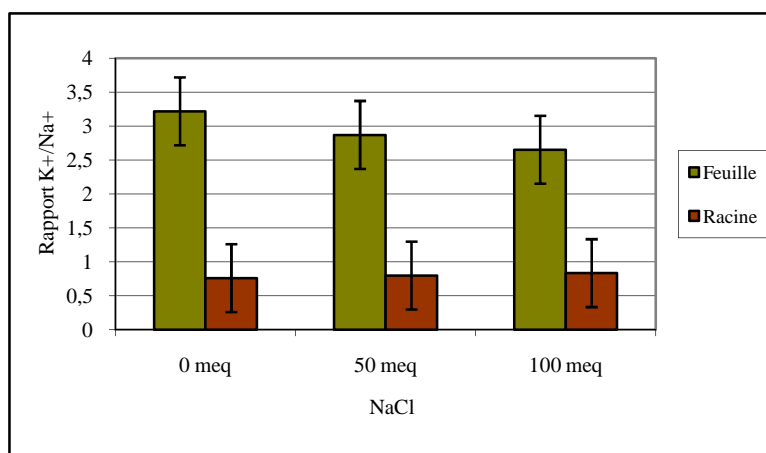


Figure 40 : Rapport potassium/sodium dans les feuilles et racines des plantes de *Phaseolus vulgaris* L. cultivées à 07% de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

C) à 10% de Bentonite :

En présence des deux concentrations salines dans le milieu, induit à une chute dans les valeurs de rapport potassium/ sodium foliaire comparativement aux plantes non stressées (2.62 et 2.51 respectivement dans 50 et 100 meq.l⁻¹) par rapport le témoin (3.13) qui reste toujours en faveur de K⁺. Par contre, le ration augmente significativement à 0.74 et 0.79 respectivement pour les deux concentrations salines 50 et 100meq.l⁻¹ par rapport au témoin (0.68) suite à l'addition de la Bentonite.

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

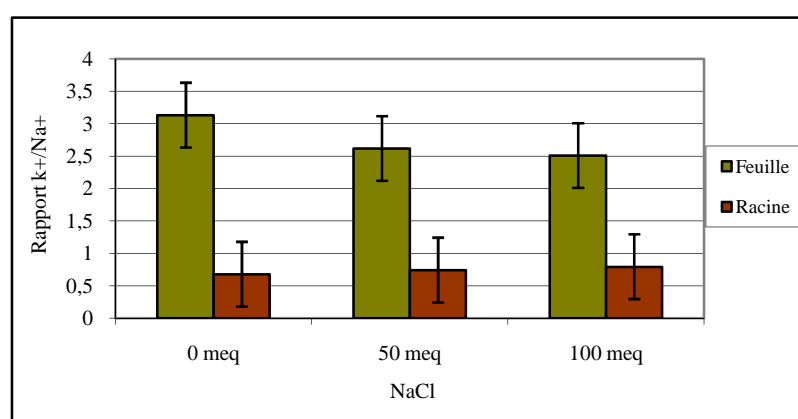


Figure 41 : Rapport potassium/sodium dans les feuilles et racines des plantes de *Phaseolus vulgaris* L. cultivées à 10 % de bentonite et stressées pendant deux semaines à la salinité.

Tableau 17: Test statistique de signification de Fisher (P= 05%) du rapport potassium/sodium des feuilles et des racines de *Phaseolus vulgaris* 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-1) | K ⁺ /Na ⁺ | |
|--------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------|
| | | Feuilles | Racines |
| 0 | 0 | 3.45 ± 0.28 | 0,55 ± 0.02 |
| | 50 | 2.41 ± 0.08* | 0,57 ± 0.01* |
| | 100 | 1.86 ± 0.07* | 0,46 ± 0.02* |
| 7 | 00 | 3.22 ± 0.05 | 0,76 ± 0.02 |
| | 50 | 2.87 ± 0.10* | 0,80 ± 0.01* |
| | 100 | 2.65 ± 0.05* | 0,83 ± 0.02* |
| 10 | 0 | 3.13 ± 0.09 | 0,68 ± 0.01 |
| | 50 | 2.62 ± 0.09* | 0,74 ± 0.01* |
| | 100 | 2.51 ± 0.07* | 0,79 ± 0.01* |

(*) : Effet significatif de la salinité sur le paramètre en étude quand P = 0,05.

DISCUSSION:

Le ratio K^+/Na^+ affiche une tendance générale à la baisse avec l'augmentation de la concentration salines particulièrement au niveau de la partie aérienne de la plante. Laredj Zazou (2013).

En effet, le K^+ est très sollicité au niveau de du compartiment aérien pour la réalisation des métabolismes cellulaires où il est généralement employé comme cofacteur dans les réactions enzymatiques et biochimiques. En présence de sel, les plantes transportent dans leurs feuilles des quantités en Na^+ plus importantes qu'en K^+ en on de l'excès de NaCl dans le milieu.

Dans notre étude, le rapport K^+/Na^+ diminue avec la salinité dans les deux organes de l'Haricots, ce ratio est supérieur à 1 dans les feuilles, ceci signifie que ce rapport est légèrement en faveur de K^+ et que sa teneur surpasse toujours celle en Na^+ dans les feuilles. En effet, le stresse salin montre une corrélation significative et négative du ratio K^+/Na^+ au niveau foliaire ($r = -0.984^{**}$) et racinaire ($r = -0.721^*$).

L'application de la combinaison sel-bentonite augmente le ratio K^+/Na^+ dans les deux organes en comparaison avec celle observé pour les plantes non traité avec de la bentonite. L'augmentation de ce ratio reste inférieure au témoin au niveau des feuilles par une corrélation significative et négative ($r = -0.992^{**}$) et ($r = -0.94^{**}$) respectivement pour les deux traitements 07 et 10% de Bentonite, par contre l'augmentation de ce ratio au niveau racinaire est une corrélation positive ($r = 0.999^*$) pour traitement 07% le la Bentonite et ($r = 0.998^{**}$) pour le traitement à 10% de Bentonite.

Weimberg et *al.*, 1984 ont 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.

En effet, les plantes traité à la Bentonite enregistrent des taux élevés en potassium ; et le ratio K^+/Na^+ devient plus important. Aux deux concentrations salines, les rapports K^+/Na^+ au niveau racinaire révèlent que les plantes tolèrent mieux la salinité soit en substrats de 07% ou les substrats de 10% par rapport aux témoins. 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. C'est au traitement 07% de la Bentonite qu'on constate les rapports les plus élevés aux niveaux racinaires.

Le ratio K^+/Na^+ peut être augmenté par un apport de Ca^{2+} externe qui met en évidence la richesse de la bentonite en Ca^{2+} (Achour et Youcef., 2003, Seghairi et *al.*, 2004). Le calcium serait capable de réduire l'activité de certains canaux (Murata et *al.*, 1998), ainsi que celle des

canaux d'entrée de Na^+ (Robert et Tester, 1997). Ce ratio a été plus élevé dans les feuilles que dans les racines ce qui montre que la sélectivité dans les feuilles est en faveur du potassium, par contre le rapport K^+/Na^+ reste parfaitement constant et inférieur à 01, dans les racines même chez les plantes témoins. Ceci signifie que Na^+ est toujours prédominant, dans ces organes, relativement à K^+ .

Conclusion générale

Conclusion générale

Les comportements physiologiques et nutritionnels des plantes sont limités par différentes conditions environnementales dans lesquelles elles se développent. L'une de ces conditions est la salinité des sols qui constitue l'un des problèmes agricoles les plus importants, sous les conditions climatiques arides et semi-arides dans le monde (Turan et Sezen, 2007 cité in Laredj Zazou, 2013).

Les légumineuses sont considérées comme des espèces sensibles aux sels, puisque leur croissance est généralement diminuée à des concentrations de 50 meq.l⁻¹ de NaCl. 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 Na⁺ et Cl⁻, de l'interférence de ces ions avec l'absorption d'éléments physiologiquement essentiels tels que K⁺, et enfin du stress hydrique (Awada et al., 1995 ; Cerda et al., 1995).

L'objectif de ce travail est de modifier certaines propriétés physicochimiques d'un sol salé par l'apport de la bentonite dont le but est l'obtention de rendement acceptable et la diminution des effets néfastes de la salinité caractéristiques des milieux arides. Au cours de notre travail nous avons essayé de définir l'effet de la salinité sur la plante de l'Haricots, et de définir l'action de la présence de la bentonite sur ces mêmes plantes stressées en NaCl.

En effet, La bentonite de Mostaganem riche en argile de type montmorillonite, a un effet positif sur l'adaptation de l'Haricot vis-à-vis des contraintes de la salinité, et contribue en conséquence à l'amélioration des conditions de croissance dans le milieu salin. L'amélioration des sols sableux avec la bentonite riche en montmorillonite améliore bien les caractéristiques physico-chimiques et hydriques des sols sableux (Bousnina et Mehiri.,1997, Benkhelifa et Daoud., 1998, Halilat et Tessier. ,2006) due à la corrélation qui existe entre la teneur en eau du substrat et la quantité d'argile adoptée (Tessier, 1994), des travaux récents ont démontré 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).

Ainsi que l'addition de la bentonite dans les substrats de cultures et en absence de traitement salin, améliore nettement le bilan hydrique des plantes. Les plantes cultivées en présence de 07% de bentonite enregistrent les meilleures teneurs en eau dans les feuilles.

Conclusion

D'un point de vue biochimique, la réduction de la concentration en chlorophylle en conditions de stress salin est attribuée à l'augmentation de l'activité des enzymes catalytiques, les chlorophyllases. En revanche, l'effet combiné de la salinité et de la bentonite a montré une réduction régulière de l'accumulation de proline dans les différents organes des plantes. Cependant, cette accumulation est restée supérieure par rapport à la série témoin en réponse à la concentration saline.

La combinaison salinité-bentonite affecte fortement la nutrition minérale en sodium de la plante. Les résultats obtenus sur les variations des sels minéraux chez *Phaseolus vulgaris* L. soumises à des différentes doses de bentonite indiquent une augmentation dans les teneurs de Na^+ dans les feuilles et racines contre une diminution de K^+ . L'augmentation des taux de sodium est due d'une part à la nature sodique de cette argile (Benkhelifa, 1997), et d'autre part à la grande mobilité du Na^+ facilitant son entraînement par l'eau infiltrée à l'état de sels solubles (Reguig., 2007). Par contre une analyse minérale des sols sableux enrichis en bentonite montre une diminution de K^+ échangeable, lorsque le sol traité s'humecte, l'eau pénètre entre les feuillets de la bentonite et ces dernières s'écartent et piègent le K^+ ; ceci implique que la quantité de K^+ absorbée diminue au fur et à mesure que la dose de bentonite augmente (Reguig., 2007). Le ratio K^+/Na^+ de l'accumulation dans les racines et les feuilles diminue avec la salinité, et à 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 maintien de la sélectivité entre K^+ et Na^+ dans les racines nécessite la présence de Ca^{2+} (Chadli et Belkhodja, 2007).

A la lumière de ces résultats obtenus, l'addition de la bentonite dans les substrats de cultures et en absence de traitement salin a pour but d'améliorer nettement les paramètres de croissance des plantes. On constate que les doses de 7 % de bentonite appliquées et combinées aux concentrations salines sont les plus appropriées. Elles contribuent à l'ajustement osmotique et assurent une nutrition minérale équilibrée des trois cations dans les feuilles et racines de l'haricot et améliorent les autres paramètres physiologiques tel que le contenu en eau et la photosynthèse.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- ABDELLY C., 2006. Caractérisation des halophytes pour le dessalement des sols salins et le traitement des eaux salines. Rapport d'activités 2007. Centre de biotechnologie à la technopole de Borj-Cedria, Tunisie, pp 28- 31.
- ABDELOUAHAB C., AIT AMAR H., OBRETENOV T. Z. et GAID A., 1988. Physicochemical and structural characteristics of some bentonitic clays for north-western Algeria. *Analysis*, 16, 292-299.
- ACHOUR S. et YUCEF L., 2003. Elimination du cadmium par adsorption sur bentonite sodiques et calciques, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 02. 68-81.
- 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.
- ALI DIB T., MONNEUVEUX 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.
- AMIROUCHE L., 2011. Etude du pouvoir de sorption du Cuivre (II), du Zinc (II) et des polyphénols par les bentonites sous l'effet des irradiations micro-ondes. Mémoire de magistère en chimie de l'environnement, Université Mouloude Mammeri, Tizi-Ouzou, p 8-17.
- ANDRIANARISO R., 1979. L'argile montmorillonitique d'ampasimpotsy. *Rapp.* 1980 serv. Géol. Mad.
- ANONYME 1: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Haricot>.
- AOUN, M., 2009. Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne (*Brassica juncea* L. Czern) néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines. Thèse de doctorat en science, Université de Bretagne occidentale. p 135.
- ASHRAF M., 1994. Breeding for salinity tolerance in plants. *Critical reviews in Plant Sciences*, 13 (1), 17-42.
- ASLOUM H., 1990. Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicum esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation

Références bibliographiques

- de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis p 24- 32.
- AUBERT G., 1978. Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales de l'I.N.A El- Harrach, Vol VI, N° 1: 195.
 - 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.
 - AYDIN A., TUSAN M., SEZEN Y., 1997. Effect of sodium salts on growth and nutrient uptake of spinach (*Spinacia oleracea*) and beans (*Phaseolus vulgaris*). Plant and Soil. Vol.16, 47-54.
 - BABA SIDI-KACI S., 2010. Effet du stress salin sur quelques paramètres phoenologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'Atriplex en vue d'une valorisation agronomique. Mémoire de Magister, Université kasdi Merbah d'Ouargla. p 75.
 - BACHIR BOUIADJRA M.A., 2010. Action combinée de la bentonite et la salinité sur le bilan minéral de la fève *Vicia faba* L. thèse de magister. Université d'Oran ES Senia. 93p.
 - BAHRANOWSKI .K. et COLL., 2000. Influence of doping with copper on the texture of pillared montmorillonite catalysts. Microporous and Mesoporous Materials 41, 201-215.
 - BAYUELO-JIMÉNEZ S.J., DEBOUCK D.G., LYNCH J.P., 2002. Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. Crop Sci., 42: 2184-2192.
 - BAYUELO-JIMÉNEZ S.J., DEBOUK D.G., LYNCH J.P., 2003. Growth, gas exchange, water relations and ion composition of *Phaseolus* species grown under saline conditions. Field crop research. Vol.80, Issue.3: 207-222.
 - BEKHOUCHE H., 1992. Etude de la germination de quelques lignées de pois chiche soumis à la salinité, croissance, anatomie des racines. Thèse D.E.S. Biol. Université d'Oran. 68 P.
 - BELELDJOUDI, Z., DAOUD, Y., 2002. Conséquence de la salinité sur l'antagonisme K^+/Na^+ chez six cultivars de blé dur. *IIIème Journées scientifiques sur le blé*. 11-12-13 Février G.B.B.V.-D.S.N.V.- I.T.G.C., Université Mentouri, Constantine : 98 -99.

Références bibliographiques

- BELHASSEN E., LAMAZE T., TOUSCH 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: 75-85.
- BELKHODJA M. et BENKABLIA M., 2000. Proline reponse 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.
- 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.
- BELLINGER Y., BENSAOUD A. and LARHER F., 1991. Physiological significance of proline accumulation, a trait of use to breeding for tress tolerance. Colloque Physiology-Breeding of winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments, Montpellier (France). Les colloques .55. Ed. Inra. Paris.
- BEN AHMED H., MANAA A., ZID E., 2008. Tolérance à la salinité d'une Poaceae à cycle court : la sétairie (*Setaria verticillata* L.). Comptes Rendus Biologies, Vol. 331: 164- 170.
- BEN AHMED H., ZID E., EL GAZZAH C., GRIGNON C., 1996. Croissance et accumulation ionique chez *Atriplex halimus* L. Cahiers d'Agricultures, Vol. 5 : 367-372.
- BEN NACER M., CHEIKH-M'HAMED H., MAALEM S., RAHMOUNE C., 2005. Les indicateurs précoces de la tolérance à la salinité 1er Colloque Euro-méditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30.
- BENDJAMA. A., 1982. Etude des bentonites algériennes. Thèse de Magister, ENP, Alger
- BENKHALIFA M. and DAOUD Y., 1998. Influence of bentonite on the physical properties of a sandy soil. INA-El Harrach, 19: 18-29.
- BENKHELIFA M., ARBAOUI M., BELKHODJA M., 1999. Effets combinés de la salinité et de la bentonite sur la densité racinaire d'une culture de tomate cultivée sur un substrat sableux. Séminaire National sur la Salinisation des terres Agricoles en Algérie, Chlef. 101- 108.
- BENKHLIFA M., 2007. Influence des conditions salines sur les propriétés physiques des mélanges sable-bentonite. Conséquences sur le comportement écophysologique

Références bibliographiques

- de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Thèse doctorat. INA-EL Harrach Alger. p 138-142.
- 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.
 - BENNABI F., 2005. Métabolisme glucidique et azote chez une halophyte (*Atriplex halimus* L.) stressée à la salinité. Mémoire de magistère en physiologie végétale, Université ES-Senia, Oran, p 136.
 - BENREBIHA FZ., 1987. Contribution à l'étude de la germination de quelques espèces d'*Atriplex* locales et introduites. Mémoire de magister en sciences agronomiques, Institut National agronomique, El-Harrach, Alger. pp 5- 20.
 - BENZELLAT B., 2012. Contribution à l'amélioration des rendements des plantes cultivées en sols salés. Mémoire de magister en sciences agronomiques, Université Abobakr Belkaid ; Tlemcen: p 8.
 - 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^+/Na^+ chez les Triticales. *Agronomie*. Vol 8, n°1. 23-27.
 - BOUAOUINA S., ZID E., HADJI M., 2000. Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.) . CIHEAM, Option Méditerranéenne Série A (40) : 239-243.
 - BOUCHOUKH I., 2009 : Comportement écophysiological de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin. Mémoire de Magister, Université de Constantine Mentouri. p 09.
 - BOUSNINA H., et MHIRI A., 1997. Amélioration de la réserve utile des sols sableux des régions arides par un amendement argileux. *Sécheresse*, Vol.8 ,n°4 :241-246.
 - CACHORRO P., ORTIZA A., CERDA A., 1993. Effects of saline stress and calcium on lipid composition in bean roots. *Photochemistry* vol. 32, no5, 1131-1136.
 - CAILLIERE S., HENIN S., RAUTUREAU M., 1982. Minéralogie des argiles. Edition Masson, Tome 1 et 2, p184.
 - CARRETEO. M., 2002. Clay minerals and their beneficial effects on human health. *Applied clay science* 21, 155-163.

Références bibliographiques

- 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 Maïze 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
- CHAUVEL.A., MONNIER.G., 1967. Sur la signification générale de l'analyse granulométrique en pédologie ; examen des problèmes posés par la caractérisation de la structure de certains sols tropicaux. C. R. Acad. Sci., 264, série D, 1969-1972.
- CHERBUY B., 1991. Les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique. Cemagraf, Ecole. Nat. Renne, P 170.
- 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). 42-46.
- CHEVERRY, C., et BOURRIE. G., 1998. La salinisation des sols. dans : Sol, interface fragile, STENGEL P. et GELIN I. [Éditeurs], INRA Edition, 109-123.
- CLAUDE M., WOLTER C., CLAUDE J., BERTHELIN J. et LOUIS M.J., 2005. Sol et environnement Ed. Dunod, Paris. 816 p.
- DAOUD Y, HALITIM A., 1994. Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresse. 5: 151-60.
- DAOUD Y., 1993. Contribution à l'étude des sols des plaines du Cheliff. Thèse de Doctorat d'état, INA Alger ,233p.
- 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.
- DEKHINAT R., BENSÄÏD Z. BENSID1 F. KOREIB1 Y., MOUNA D., 2010. Analyse de la variabilité spatiale de la salinite des sols dans une palmeraie algérienne (Biskra, Algerie). Sciences & Technologie .n°31pp.9-14
- 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. 23, 4 : 220-225
- DERIBERE M., ESME A., 1943. La bentonite / Les argiles colloïdales et leurs emplois. Ed Dunod. Edition 2.

Références bibliographiques

- DJILI K, DAOUD Y., GAOUAR A., BELJOUDI Z., 2003. La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. *Sécheresse*. 4 : 241-246.
- DUCHAUFOR PH., 1977. *Pédologie : sol, végétation, environnement*. Ed Masson. Paris, 350 p.
- DUCHAUFOR PH., 1983. *Pédologie. Pédogenèse et classification T1*. Ed Masson. p 467-483.
- DUCHAUFOR PH., 2001. *Introduction à la science du sol. Sol, végétation, environnement*. 6^{ième} Ed. DUNOD, Paris. 314p.
- DURAND JH., 1983. *Les sols irrigables*. Presses Universitaires de France Paris, Agence de Coopération Culturelle et Technique. p 322.
- EL HENDAWY, S. E. S., 2004. Salinity tolerance in Egyptian Spring Wheat. thèse de Doctorat d'Etat. Université München, Allemagne, pp.1-13.
- 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 en Sciences Agronomiques, I.A.V. Hassan II, Rabat.
- EL MIDAOU, 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, 29-34.
- ENGELTHALER Z A et al., 1983. Production des métaux non ferreux et leur application dans l'agriculture. ONUDI, Pilsen, Tchécoslovaquie. 163p.
- 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.
- FLOWERS T J., FLOWERS S A., 2005. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? *Agricultural Water Management*. Vol. 78, N°. 1-2: 15- 24.
- FORGES M., 1972. Irrigation et salinité, l'E.N.S.H.Versailles Options méditerranéennes p40-45.
- FREDERIC B., 2001. Prise en compte du gonflement des terrains pour le dimensionnement des revêtements des tunnels. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris. pp 45.
- GADELLE F. et COLL, 2001. Removal of Uranium (VI) from contaminated sediments by surfactants. *J. Enviro. Qual.* Vol. 30.

Références bibliographiques

- GAMA P. B. S., INANAGA S., TANAKA K., NAKAZAWA R., 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. African Journal of Biotechnology Vol. 6 (2), 079-088.
- GAUCHER G., BURDIN., 1974. Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Presses Universitaire de France, 230 P.
- GENOUX, C., PUTZOLA, F. ET MAURIN, G., 2000. La Lagune méditerranéenne : Les plantes halophiles. TPE. 1 ère S-2, 22p.
- 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 p.
- GREENWAY, H. et MUNNS, R., 1980. Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. Annual Review of Plant Physiology. Vol. 3, 149-190.
- GROUZIS M., BERGER A., HEIM G., 1976. Polymorphisme et germination des grains chez trois espèces annuelles du genre *Salicornia*. Oecol. Plant.11 (1): 41-52.
- GUERRIER, G.,1984. Relations entre la tolérance ou la sensibilité à la salinité lors de la germination des semences et les composantes de la nutrition en sodium. *Biologia Plantarum* (PRAHA) Vol. 26, n°1, 22-28.
- HADDAD S., and COUDRET A., 1991. Effets de l'adjonction de KCl ou de CaCl₂ sur la tolérance au NaCl chez deux cultivars de triticale (Clercal et Beagle). Canadian Journal of Botany 69, 2113-2121.
- HADJADJ S., 2009. Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur des marqueurs biochimiques (proline et sucres solubles) de plantes juvéniles d'*Atriplex halimus* L. et d'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. Mémoire de Magister en Biochimie et analyse des bioproduits, Univer Kasdi Merbah Ouargla, p 100.
- 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 l'ajout de bentonite. Cahiers Agricultures, Vol. n°4, 347-353.
- HALITIM A., 1973. Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie. Thèse Doc. U.E.R des sciences biologiques.
- HALITIM A., 1988. Sols des régions arides d'Algérie. Office de Publications Universitaires, Alger: 39- 40.

Références bibliographiques

- 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 genèse et le comportement des sols. Thèse de Doctorat. , Univ. , Rennes, 383 p.
- HAMDY A., 1999. Saline irrigation and management for a sustainable use. In: Advanced Short Course on Saline Irrigation. Proceeding, Agadir: 152-227.
- HAMDY A., LIETH H., MEZHER Z., 1995. Halophyte performance under high salinity level and overview saline irrigation, halophyte production and utilization. roject. N° IG. 18. CT.96.55: 20-58.
- 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. 'Séjnéne), *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 15(3), 387-400.
- HAMZA M., 1977. Action de différents apports de chlorure de sodium sur la physiologie de deux légumineuses (*Phaseolus vulgaris*) sensible et (*Hedysarum curnosum*) tolérante, relation hydrique et ionique. Thèse de doctorat. Université 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., BEN EL-HADJ S., 2007. Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{++}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, Vol. 11, N° 3 : 235- 244.
- HASAN A.M., 1995. الأساس الفسيولوجي للتحسين الوراثي في النبات. تربة لزيادة الكفاءة الإنتاجية و تحمل الظروف البيئية القاسية، الأكاديمية القاهرة 169- 170.
- HASSANI A., DELLAL A., BELKHODJA M. ET KAID- HARCHE M., 2008. Effet de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum Vulgare* L) *European Journal of Scientific Research*. Vol.23, n°1, 61-69.
- HAYASHI H., MURATA N., 1998. Genetically engineered enhancement of salt tolerance in higher plants. In: Sato Murata N, *Stress Response of Photosynthetic Organisms: Molecular Mechanisms and Molecular Regulation*. Ed. Elsevier, Amsterdam: 133-148.
- HOPKINS W G., 2003. *Physiologie végétale*. 2ème édition. De Boeck, Bruscelles: 61-476.

Références bibliographiques

- IRD., 2008. Les dossiers thématiques de l'Institut de Recherche pour le Développement. Les sols sont fragiles : 1er partie Salinisation et sodisation des sols. 2ème partie La dégradation des sols par salinisation ou alcalisation.
- ITCMI, 2010. Fiches techniques valorisées des cultures maraîchères et Industrielles. La culture du haricot. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural Algérien. Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles. Route de Moretti BP 50 STAOUELI - Alger. 5 p. itcmi2008@yahoo.fr
- JABNOUNE M., 2008. Adaptation des plantes à l'environnement, Stress salin. Diapositive .41p.
- JOZJA N., 2003. étude de matériaux argileux albanais : Caractérisation multi-échelle d'une bentonite magnésienne. Impact de l'interaction avec le nitrate de plomb sur la perméabilité. Thèse de doctorat de l'université d'Orléans. 120 p.
- KAMELI A. and LOSEL D.M., 1996. Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. *New Phytol.*, 132 : 57–62.
- KAUSS H., 1977. Biochemistry of regulation. In NORTHCOTE (Ed): *International Review of Biochemistry*, II :. 119-139.
- KAWI. S. et COLL., 1999. Silica bonded K 10 montmorillonite (SBM): a high surface area catalytic clay material. *Microporous and Mesoporous Materials* 28, 25-34.
- KHADRI M., PLIEGO L. SOUSSI M., LLUCH C., OCANA A., 2001. Ammonium assimilation and ureide metabolism in common bean (*Phaseolus vulgaris*) nodules under salt stress. *Agronomy*. 21, 635-643.
- KHADRI M., TEJERA N.A., and LLUCH C., 2006. Alleviation of Salt Stress in Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) by Exogenous Abscisic Acid Supply. *Journal of Plant Growth Regulation*. 25:110–119.
- 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.* 85 225-32.
- LACHIHEB K., NEFFATI M., ZID E., 2004: Aptitudes germinatives de certaines graminées halophytes spontanées de la Tunisie méridionale. *Options Méditerranéennes*. 62: 89-93.
- LAMZERI, H., 2007. Réponses écophysiologicals de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. gomphocephala* et *S. mölle*) soumises

Références bibliographiques

- à un stress salin. Thèse de magistère en Ecologie et Environnement .Option : Ecologie végétale. Université Mentouri Constantine. 141p.
- LANGMUIR D., 1997. Aqueous Environmental Geochemistry. Prentice Hall, p 600.
 - LAREDJ ZAZOU R., 2013. Effet de la salinité sur le comportement hydrique et minéral du haricot (*Phaseolus vulgaris* L). thèse de magister. Université d'Oran ES Senia. 113 p
 - LARHER F., HUQIS M., GERNAT-SAUUGE D., 1987. Nutrition azotée des légumineuses. Les colloques d'INRA. N°7.181-192.
 - LÄUCHLI A., STELTER W., 1982. Salt tolerance of cotton genotypes in relation to K^+/Na^+ selectivity. Plenum press New-York: 511-514.
 - LEVIGNERON A., LOPEZ F., VANSUYT G., BERTHOMIEU P., FOURCROY P., CASSE-DELBART F., 1995: Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures.4 (4). 263-273.
 - LEVITT J., 1980. Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and others stresses. Academic Press, New York, Vol. 2: 365- 406.
 - LYNCH j., CRAMER GR., et LAUCHLI A., 1987. Salinity reduces membranes accumulated Ca^{2+} in corn root protoplasts. PL. PHY., 83 : 390-394 .
 - MAILLARD J., 2001. Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International, 34 p.
 - MAINGUET M., 2003. Les pays secs environnement et développement. Ellipses, Paris: 27- 28.
 - MARC L, 2001. Le contrôle de la salinité dans les rizières, Mémento Technique de Riziculture, p 6-12.
 - 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.
 - MERMOUD. A, 2006. Cours physique du sol, Maîtrise de la salinité des sols. Copie des transparents. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. 15p.
 - MESSEDI D., ABDELLY C., 2004. Physiologie de la tolérance au sel d'une halophyte de recouvrement : *Batis maritima*. Revue des Régions Arides, Tome 1, N° spécial : 192-199.
 - MISSANA T. et COLL.,2004. Kinetics and irreversibility of cesium and uranium sorption onto Bentonite colloids in a deep granitic environment. Applied clay science 26, 137-150.
 - MONNEVEUX P., 1991. L'amélioration des plantes pour l'adaptation au milieu arides. Ed. Aupelf-Uref. J. Eurotxt.L. Paris: 165 -186 p.

Références bibliographiques

- 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) : 583-590.
- MUNNS R., 2002: Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment*, Vol. 25: 239- 250.
- MUNNS R., HUSAIN S., RIVELLI A.R., JAMES R.A., CONDON A.G.T, LINDSAY M. P., LAGUDAH E.S., SCHACHTMAN D.P., HARE R. A., 2002. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. *Plant and Soil* .247: 93–105.
- 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: 28 – 38.
- NIU G., RODRIGUEZ D.S. and STARMAN T., 2010. Response of bedding plants to saline water irrigation. *Hort Science* 45 (4), 628–636.
- NIU X., RSESSAN R A., HASEGAWA P M., PARDO J M., 1995: Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*. 109 (3): 735- 742.
- OUERGHI Z., ZID E., HAJJI M., ET SOLTANI A., 1998. Comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum* L.) en milieu salé. *CIHEAM - Options Méditerranéennes*. pp. 309- 313.
- PARIDA A.K., DAS A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, pp. 324-349.
- PESCI P. and BEFFAGNA A., 1984. Inhibiting effect of fusaric acid on abscisic acid induced proline accumulation in barley leaves. *Plant Sci. Letters*, 37 : 7-12.
- PESSARAKLI M., 1990. *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker, USA, pp 1190.
- PETR J., 1985. *Non metallic sorbents in agriculture*. Editions ONUDI, Tchécoslovaquie. 39p.
- QIAN Y.L., WILHELM S.J., MARCUM K.B., 2001. Comparative responses of two Kentucky bluegrass cultivars to salinity stress. *Crop Science*, Vol. 41: 1895-1900.
- RAJASKARAN L.R., ASPINAL D. and PALEG L.G., 2000. Physiological mechanism of tolerance of *Lycopersicon sp.* Exposed to salt stress. *CANAD. J. PLANT. SCI.* 80/1, 151-152.

Références bibliographiques

- RAJU K. P., DESAI J. N., CHANDRASEKHAR T., ASHOK N. M. 1993. Precursors, arginine, ornithine, or methionine in ameliorating the inhibitory effect of NaCl on wheat plant. *Egyptian J. Biotechnol.* 9: 328-340.
- REDDY P.S. and VEERANJANEYULU K., 1991. Proline metabolism in senescing leaves of horsgram (*Macrotyloma uniflorum Lam.*). *J. Plant. Physiol.*, 137 : 381-383.
- REGUIG YSSAAD H.A., 2007. Effet de la bentonite sur les sols sableux de la région de Mostaganem, étude de comportement d'une association blé pois chiche Thèse doctorat. INA d'EL Harrache Alger.p94-100.
- REJILI M., VADEL M A., NEFFATP M., 2006. Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, Vol. 17, N° 1 : 65- 78.
- RENARD S., GOFFORK J.P., FRANKINET. 2007. Optimisation de l'efficience de l'azote dans les rotations intégrant les cultures de légumes industriels en Hesbaye. *Les dossiers de la recherche agricoles. Ager1970.* pp 1.
- RENGEL Z., 1992. Disturbance of cell Ca²⁺ homeostasis as a primary trigger of Al³⁺ toxicity syndrome plant . *Cell et Env.* 15 :931-938.
- REYNOLDS M P., ORTIZ-MONASTERIO J I., MCNAB A., 2001. Application of Physiology in Wheat Breeding. Mexico, D.F.: CIMMYT: 101-111.
- RHODES J., LAVEDAY J., 1990: Salinity in irrigated agriculture riverside. USDA, 1089-1141.
- ROBERT S.K., et TESTER M., 1997. A patch clamp study of Na⁺ transport in Maize roots. *J.Exp.Bot.* 48 (special). 431-440.
- SAI KACHOUT S., BEN MANSOURA A., JAFFEL K., LECLERC J C., REJEBM N., OUERGHI Z., 2009: The effect of salinity on the growth of the halophyte *Atriplex hortensis* (Chenopodiaceae) applied ecology and environmental research.. *Penkala Bt.*, Budapest, Hungary. 7(4): 319-332.
- SEEMANN J. R., SHARKEY T. D., 1986. Salinity and nitrogen effects on photosynthesis, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and metabolite pool sizes in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant physiology* Vol. 82, No2, pp. 555-560.
- 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 minéralisation variable, *Larhyss Journal*, N° 03: 91-102

Références bibliographiques

- SENTENAC, H. ET BERTHOMIEU, P., 2003. Découverte d'un nouveau mécanisme de tolérance des plantes au sel. UMR Biochimie et physiologie moléculaire des plantes (Unité mixte Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier /Université/CNRS/INRA) Service Presse INRA. 34 p.
- SERRANO R., GAXIOLA R., 1994. Microbial models and salt stress tolerance in plants. Crit. Rev. Plant Sci. Vol. 13: 121- 138.
- SERVANT JM., 1975. Etude pédologique des sols halomorphes. Thèse de Doctorat. Université Montpellier. 194 p.
- SHANNON M.C., 1985. Principles and strategies in breeding for higher salt tolerance. Plant Soil. 89:227-241.
- SIGG J., 1991. Les produits de terre cuite. Editions Septima, Paris, France. 448p.
- 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.
- SLAMA F., 1986. Intervention des racines dans la sélectivité ou la tolérance à NaCl de plantes cultivées. Agronomie 6 (7) : 651-658.
- SNOUSSI S., HALITIM A., VALLES V., 2004. Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. Cahiers Agricultures. Vol.13, N° 3, 283-287.
- SUMMER M.E., 1993. Gypsum and acid soils: the world science. Advances in Agronomy. 51, pp: 1-32.
- SWARTZEN ET COLL., 1974. Surface and colloid chemistry of clay. Chemical Reviews vol. 74 (3): 385-400..
- SZABOLCS I., 1994. Soils and salinization. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York : 3-11.
- SZABOLCS.I., 1989. Salt affected soils, as word problem. In The reclamation of salt-affected soils. Universit Beijing, China, p.30-47
- TAHRI E. H., BELABED A. M. ET SADKI K., 1998. 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*. Université Mohamed Premier. Maroc. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, n°21 ; 81-87.
- TAL M. and ROSENTHAL I., 1979. Salt tolerance in *Simmondria chenensis* water balance and accumulation of chloride sodium and proline under low and high salinity. Ann. Bot., 34: 701-708.

Références bibliographiques

- TALEISNIK-GERTEL E. AND TAL M., 1986. Potassium utilisation and fluxes in wild salt-tolerant relatives of the cultivated tomato. *Physiol. Plant.* 67, 415–420.
- TESSIER D., 1994. Role de l'eau sur les propriétés physiques des sols . *Séchresses*, N°3,143-150.
- 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.
- 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.* 62,472–480.
- WYN JONES G., GOUSTON H., 1991: Complementarity or conflicting approaches to Salinity. *DDU.Bulletin N° 23: 7-9.*
- ZID E., GRIGNON C., 1991: Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, AUPELF-UREF. Jon Libbey Eurotext, Paris: 91- 108.

LES CITE DE WEB :

<http://www.mpl.IRD2008.fr/suds-enligne/sols/fragile/salinisation1>.

<http://www.mpl.IRD2008.fr/suds-enligne/sols/fragile/dégradation1>.

http://www.homejardin.com/haricot/phaseolus_vulgaris.html

http://www.homejardin.com/haricot_a_ecosser/phaseolus_vulgaris.html

<http://www.pressesagro.be/base/text/v11n3/235.pdf>

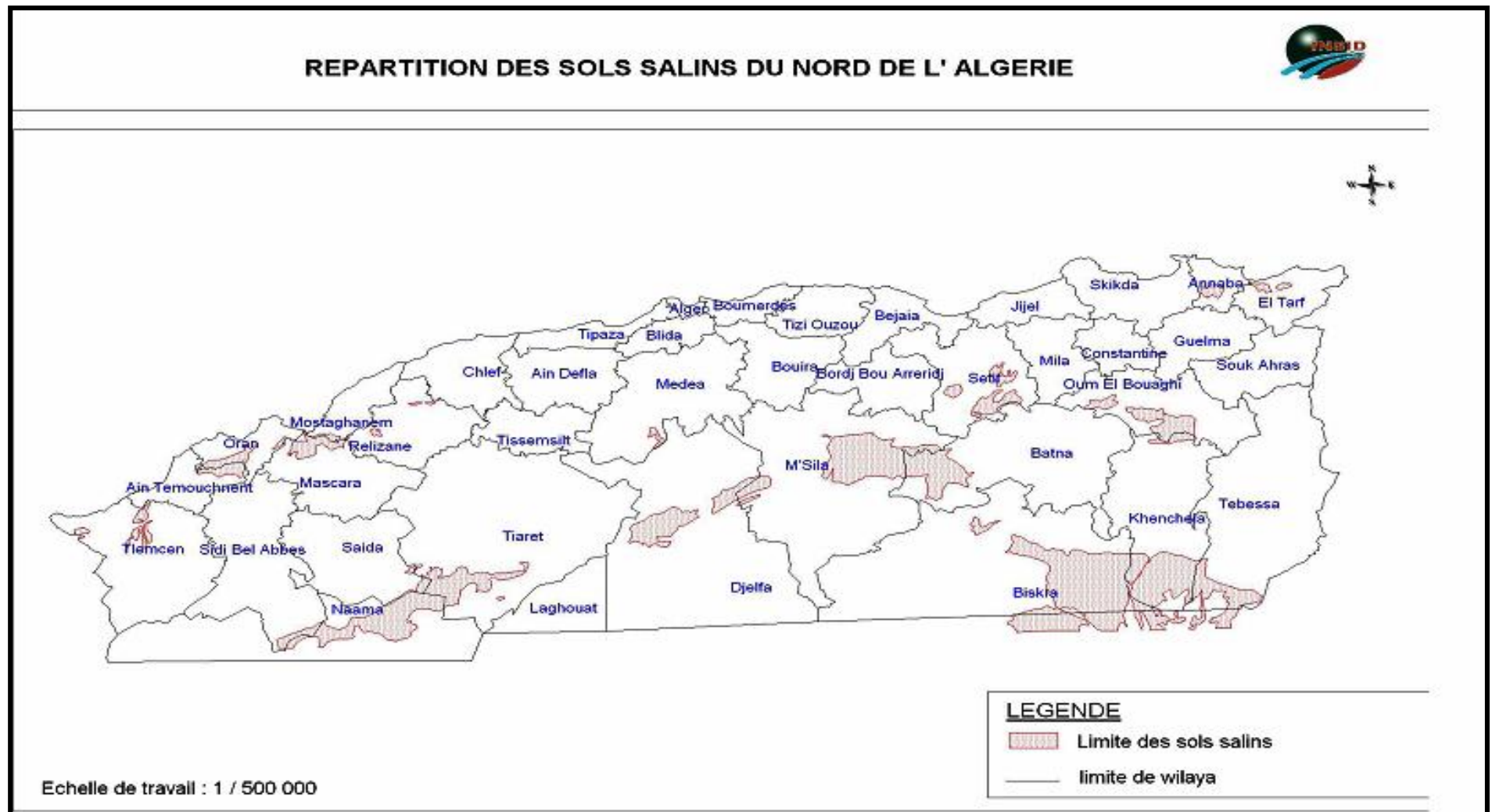
itcmi2008@yahoo.fr

ANNEXES

ANNEXE 01 : Classement des Wilayas touchées par la salinité en fonction du pourcentage de la S.A.U. BENZELLAT.B, 2012.

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

ANNEXES



Carte n°01: La répartition des sols salins du Nord de L'Algérie.

Source : Sols salins en Algérie. INSID, 2008

ANNEXES
