

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abou Bekr Belkaid –Tlemcen –

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

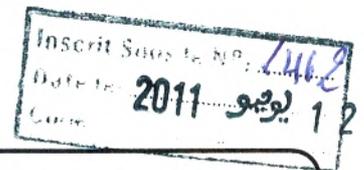
Département des Sciences agronomiques et des forêts



Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques

Option : systèmes de culture intégrés et gestion conservatoire

Thème



**Effets de la salinité sur le comportement écophysologique  
et biochimique d'une culture de pois chiche (*Cicer arietinum*. L)  
au stade juvénile.**

Présenté par :

M. BOUMAAZA Boualem

Devant le Jury :

M. ELHAITOUUM Ahmed	Président	M.C.A	Université de Tlemcen
M. BENKHELIFA Mohamed	Directeur de mémoire	M.C.A	Université de Mostaganem
M. BELKHODJA Moulay	Examineur	Pr.	Université d'Oran
M. MERZOUG Abdessamad	Examineur	M.C.A	Université de Tlemcen

Année universitaire : 2010-2011

*Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma très chère mère*

*Symbole de douceurs, de tendresse, d'amour et d'affection*

*Qu'Allah t'offre son éternel Paradis*

*A celui à qui je dois ce que je suis*

*Mon cher père*

*Pour son amour, sa patience et ces sacrifices*

*A ma femme pour sa compréhension et son soutien sans faillir*

*A mon fils Farouk Abd Elrahmen*

*A ma fille Soumia*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de se  
travail*

## *Remerciements*

Au terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer ma profonde reconnaissance et ma gratitude aux personnes qui ont contribué à faciliter ma tâche et la mener à bien.

Ce mémoire a été réalisé au laboratoire d'Écophysiologie végétale, Université de Es-Sénia, Oran, Algérie dirigé par M. BELKHODJA Moulay Je souhaite le remercier ici pour l'accueil qu'il a porté à ce travail, pour sa disponibilité, ses orientations, ses remarques fructueuses et d'avoir eu l'amabilité d'accepter de faire partie du jury et de juger ce travail. Qu'il trouve ici ma profonde gratitude.

Je remercie mon Encadrant M. BENKHELIFA Mohamed, pour la confiance qu'il m'a accordée tout au long de mon thème. Ce fut un plaisir d'expérimenter et d'apprendre par ses intuitions et ses connaissances scientifiques. Je lui exprime ma profonde gratitude pour l'aide qu'il m'a fournie pour la réalisation de ce travail, qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect et de ma sincère reconnaissance.

Mes plus vifs remerciements vont à M. ELHAITOUUM Ahmed maître de conférences à l'université de Abou bekr Belkaid Tlemcen pour l'intérêt porté à mon travail et pour avoir accepté de présider ce jury.

Mes remerciements s'adressent particulièrement à M. MERZOUG Abdessamad maître de conférences à l'université d'Abou Bekr Belkaid Tlemcen pour sa participation comme membre de jury.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Monsieur KRADIA Laid, Directeur du Laboratoire régional Ouest d'analyses des sols et des eaux d'irrigation de l'INSID à El Matmar (Wilaya de Relizane) pour la confiance qu'il m'a témoignée en m'accueillant au sein de son laboratoire et m'avoir facilité mon intégration au sein de son équipe.

Il m'est agréable d'exprimer mes remerciements à tous mes amis qui m'ont aidé pour le bon achèvement de ce travail.

Un merci tout particulier à toute ma famille qui m'a soutenue et encouragée depuis toujours, dans mes études et dans ma vie.

## RÉSUMÉ

La salinité est généralement perçue comme un problème important en Algérie, particulièrement dans les régions arides et semi-arides où l'augmentation de la concentration du sel conduit à la réduction du développement de la production agricole. L'une des méthodes utilisées traditionnellement pour atténuer les effets néfastes de la salinité sur les cultures consiste à ajouter aux sols sableux contaminés par la salinité une argile à grand pouvoir d'hydratation.

Dans le présent travail, la bentonite de Mostaganem est ajoutée à 7 % du poids de sol sec à un substrat sableux. Le mélange ainsi obtenu est utilisé pour la culture d'une variété de pois chiche (*Cicer arietinum*) appelée ILC3279 soumise à un stress salin à l'aide d'une solution de NaCl avec 4 concentrations (0, 50, 100 et 200 meq.l<sup>-1</sup>). L'étude du comportement écophysologique et biochimique de la culture stressée par la salinité dans le substrat sableux initial et celui amendé par la bentonite montre que l'absorption du Na<sup>+</sup> par les graines du pois chiche provoque des effets toxiques sur leur germination. Les effets combinés de salinité et de la bentonite ce sont manifestés par une double réduction de la croissance à travers les paramètres étudiés (poids frais et sec, teneur en eau, teneur en chlorophylle a et b et teneur en protéines totales libres). Par contre, nous avons observés une augmentation en teneur en sucres solubles totaux. L'un des résultats importants de cette étude est l'effet favorable obtenu avec la concentration saline de 50 meq.l<sup>-1</sup> en NaCl sur les paramètres étudiés pour lesquels les données montrent une amélioration par rapport aux plants témoins de la culture. En plus des résultats obtenus, cette étude a permis d'appréhender les bases scientifiques qui contribuent à expliquer les effets d'une argile utilisée traditionnellement pour améliorer les propriétés physiques de sols soumis aux contraintes abiotiques de sécheresse et de salinité en zones arides et semi arides

**Mots clés :** Bentonite, salinité, pois chiche, absorption, germination, *Cicer arietinum*

## ABSTRACT

Salinity is widely perceived as a major problem in Algeria, particularly in arid and semi-arid areas where the increase in salt concentration led to a reduction in the development of agricultural production. One of the methods traditionally used to mitigate the adverse effects of salinity on crops is to be added to sandy soils contaminated with salinity a great power of clay hydration.

In this work, Mostaganem bentonite is added to 7% by weight of dry soil with a sandy substrate. The resulting mixture is used for the cultivation of a variety of chickpea (*Cicer arietinum*) called ILC3279 subjected to salt stress with NaCl solution with four concentrations (0, 50, 100 and 200 meq. l<sup>-1</sup>).

The study of ecophysiological and biochemical behavior of culture stressed by salinity in the sandy substrate and the initial amended by the bentonite shows that Na<sup>+</sup> absorption by seeds of chickpea caused toxic effects on germination. The combined effects of salinity and bentonite are shown by a double reduction in growth across the studied parameters (fresh and dry weight, water content, chlorophyll a and b and total protein content free). By cons, we observed an increase in total soluble sugar content.

One of the important results of this study is the favorable effect obtained with the salt concentration of 50 meq.l<sup>-1</sup> NaCl on the parameters studied for which the data show an improvement over the control plants of the crop. In addition to the results, this study to understand the scientific foundations that help explain the effects of clay traditionally used to improve the physical properties of soils subjected to abiotic stresses of drought and salinity in arid and semi arid.

**Keywords:** Bentonite, salinity, absorption, germination, *Cicer arietinum*.

## ملخص

تشكل الملوحة خطرا حقيقيا في الجزائر لا سيما في المناطق الجافة وشبه الجافة حيث الزيادة في تركيز الملح يؤدي إلى انخفاض في تطوير الإنتاج الزراعي. لمواجهة هذه المشكلة الخطيرة للملوحة، وضع إستراتيجية تنطوي على استغلال الموارد الطبيعية مثل البنتونيت. بحيث يجب الأخذ بعين الاعتبار أن وجوده يمكّن في تحسين نوعية المياه والتربة المالحتين. هذا البنتونيت لديه خاصية القدرة على امتزاز بعض الكاتيونات والأنيونات على سطحها والحفاظ على إبقاء هذه التبادلات. تمت دراسة علي نوع من الحمص بمعالجة البنتونيت ممزوجة بكلوريد الصوديوم. أظهرت النتائج المحصلة عليها، أن امتصاص الصوديوم بواسطة البذور يسبب آثار سامة على إنبات بذور الحمص. إضافة البنتونيت بجرعة 7 ٪ مع عدم وجود الملح، أدى إلى تفاقم الأعراض الورقية. وتجلّى تأثير دمج الملوحة والبنتونيت بانخفاض مزدوج في النمو، وتخفيض، في جميع المعايير (الوزن الطازج، الوزن الجاف، المحتوى المائي، ومحتوى الكلوروفيل ألف وباء والبروتينات). غير أنه، لوحظ زيادة في إجمالي محتوى السكر. في غياب البنتونيت، تعرّض نباتات الحمص لكلوريد الصوديوم، تجلّى من خلال النقص في نمو النبات، ولكن مع محتوى البروتين أظهر زيادة كبيرة مجّانا. ومع ذلك، تراكم (المحتوى المائي، الوزن الطازج، الوزن الجاف، الكلوروفيل أ و ب، مجموع محتوى السكر وإجمالي البروتين) أظهر نسب أعلى في حضور البنتونيت و الملوحة بجرعة 50 ميلي مكافئ من كلوريد الصوديوم. نبات الحمص عبر عن شدة تحمّله للملوحة بتخزينه مزيد من الصوديوم في الجذور و البوتاسيوم في الأوراق.

**الكلمات المفتاحية :** البنتونيت، الملوحة، الاستيعاب، الإنبات، الحمص

## Liste des figures

<b>Fig. 01-</b>	Représentation schématique d'un feuillet de phyllosilicate 2:1.....	18
<b>Fig. 02-</b>	Photographies au Microscope Electronique à Balayage des argiles (Mitchell, 1976).	19
<b>Fig. 03-</b>	Représentation schématique d'un feuillet de phyllosilicate 2:1.....	20
<b>Fig. 04-</b>	Modes d'associations supposés des feuillets de montmorillonite en suspension. ....	21
<b>Fig. 05-</b>	Le pois chiche, <i>Cicer arietinum</i> L.....	31
<b>Fig. 06-</b>	Variation de la moyenne du taux de germination journalière (MDG) en fonction de la concentration en chlorure de sodium. ....	41
<b>Fig. 07-</b>	Cinétique de germination (%) des graines de pois chiche stressées au NaCl( meq.l <sup>-1</sup> )	42
<b>Fig. 08-</b>	Variations de la vitesse de germination en fonction de salinité (meq.l <sup>-1</sup> de NaCl).....	43
<b>Fig. 09-</b>	Taux finaux de germination des graines du pois chiche en fonction de la salinité.....	43
<b>Fig. 10-</b>	Le pourcentage des plants touchés en absence de sel et cultivée dans les substrats sableux et bentonite.....	44
<b>Fig. 11-</b>	le pourcentage des plants touchés par la salinité et cultivée dans les substrats sableux et bentonite.....	45
<b>Fig. 12-</b>	Longueur des parties des plantes de pois chiche après une semaine de stress au NaCl.....	
<b>Fig. 13-</b>	Effet du sel sur le poids frais des parties aériennes et souterraines des plantes de pois chiche après dix semaines.....	46 47
<b>Fig. 14-</b>	Effet du sel sur le poids sec des parties aériennes et souterraines des plantes de pois chiche après dix semaines.....	48
<b>Fig. 15-</b>	Effet du sel sur la teneur en eau des parties aériennes et souterraines des plantes de pois chiche après dix semaines.....	49
<b>Fig. 16-</b>	Teneur de la chlorophylle dans les feuilles des plantes cultivées en absence de bentonite et stressé pendant une semaine à la salinité.....	50
<b>Fig. 17-</b>	Teneur de la chlorophylle dans les feuilles des plantes cultivées en présence de bentonite et stressé pendant une semaine à la salinité.....	50
<b>Fig. 18-</b>	Effet du sel sur la teneur en sucres solubles totaux des parties aériennes et souterraines des plantes de pois chiche après dix semaines.....	52
<b>Fig. 19-</b>	Effet du sel sur la teneur en protéines total des parties aériennes et souterraines des plantes de pois chiche après dix semaines.....	53
<b>Fig. 20-</b>	Teneur en sodium (ppm) dans les tiges et racines cultivées en l'absence de bentonite et stressé pendant une semaine à la salinité.....	54
<b>Fig. 21-</b>	Teneur en sodium (ppm) dans les tiges et racines cultivées en présence de bentonite et stressé pendant une semaine à la salinité.....	54
<b>Fig. 22-</b>	Teneur en potassium (ppm) dans les tiges et racines cultivées en absence de bentonite et stressé pendant une semaine à la salinité.....	56
<b>Fig. 23-</b>	Teneur en potassium (ppm) dans les tiges et racines cultivées en présence de bentonite et stressé pendant une semaine à la salinité.....	56

## Liste des photos

<b>Photo 1</b> – Vue sur la serre expérimentale utilisée.....	35
<b>Photo 2</b> – Vue sur quelques graines de la variété utilisée : ILC3279.....	35
<b>Photo 3</b> – Germination des graines de pois chiche en fonction des concentrations salines.....	43

## Liste des Tableaux

Tableau. 01	Indice de salinité de certains engrais.....	05
Tableau. 02	Caractéristiques physiques des argiles.....	22
Tableau. 03	Caractéristiques physico – chimiques bentonite de Mostaganem.....	25
Tableau. 04	Composition chimique (en %) de bentonite de Mostaganem.....	26
Tableau. 05	Production de la bentonite de Mostaganem en fonction de son utilisation.....	26
Tableau. 06	Evolution de la superficie, de la production et du rendement de la culture de pois chiche dans le monde.....	28
Tableau. 07	Représentation de la superficie et de la production de la culture de pois chiche par rapport aux autres légumineuses alimentaires en Algérie en 2009.....	29
Tableau. 08	Principales zones de culture du pois chiche en Algérie.....	29
Tableau. 09	Principales variétés cultivées en Algérie jusqu'à l'année 1988.....	29
Tableau. 10	Caractéristiques générales de variété du pois chiche utilisée.....	36
Tableau. 11	Composantes d'un bloc du dispositif expérimental adopté.....	36
Tableau. 12	Effet de la salinité sur la longueur de différents organes de la plante de pois chiche...	46
Tableau. 13	Analyse de la variance de la longueur de différents organes de pois chiche stressée au NaCl.....	46
Tableau. 14	Effet de la salinité sur le poids frais de plante de pois chiche.....	47
Tableau. 15	Analyse de la variance du poids frais de plante de pois chiche stressée au NaCl.....	48
Tableau. 16	Effet de la salinité sur le poids sec de plante de pois chiche.....	48
Tableau. 17	Analyse de variance du poids sec de plante de pois chiche stressée au.....	49
Tableau. 18	Effet de la salinité sur contenu relatif en eau chez deux parties de pois chiche.....	50
Tableau. 19	Analyse de la variance de la teneur en eau de plante de pois chiche stressée au NaCl..	50
Tableau. 20	Effet de salinité sur la teneur en chlorophylle à des plantes de pois chiche....	51
Tableau. 21	Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle de la plante stressée au NaCl...	51
Tableau. 22	Effet de la salinité sur la teneur en sucres soluble de plante de pois chiche.....	52
Tableau. 23	Analyse de variance de la teneur en sucres soluble de plante de pois chiche stressée au NaCl.....	52
Tableau. 24	Effet de la salinité sur la teneur en protéines totales de plante de pois chiche.....	53
Tableau. 25	Analyse de variance de la teneur en protéines total de plante de pois chiche stressée au NaCl.....	53
Tableau. 26	Effet de salinité sur la teneur en sodium à des plantes de pois chiche.....	55
Tableau. 27	Analyse de la variance de la teneur en sodium de plante de pois chiche stressée au Nacl.....	55
Tableau. 28	Effet de salinité sur la teneur en potassium à des plantes de pois chiche.....	56
Tableau.29	Analyse de la variance de la teneur en potassium de plante de pois chiche stressée au NaCl.....	56

## Liste des abréviations

°C : Degré Celcius  
**AAS** : Acide Acétyla Salicylique  
**ABA** : acide asismique  
**AJ** : Acide harmonique  
**AOAC**: Association of Official Analytic Chemistry  
**AS** : Acide Salicylique  
**ASS**: Acide Sulfo Salicylique  
**ATP** : Adénine Tri Phosphate  
**C.E.C** : Capacité d'échange cationique  
**CaCl<sub>2</sub>** : Chlorure de Calcium  
**CAM**: Crassulacean acid metabolism  
**chl a**: chlorophylle a  
**chl b**: chlorophylle b  
**cm** : Centimètre  
**DO** : Densité Optique  
**FAO** : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture  
**Fig** : Figure  
**g** : Gramme  
**GS** : Glutamate Synthétase  
**H** : Heure  
**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** : Peroxyde d'hydrogène  
**ITGC** : institut technique des grandes cultures  
**KCl** : Chlorure de potassium  
**Kg** : Kilogramme  
**m mho/cm** : Millimhos par centimètre  
**MAT** : Matière Azoté Total  
**Meq** : Milliéquivalent  
**ml** : Millilitre  
**MS** : Matière Sèche  
**NaCl** : Chlorure de Sodium  
**PAL** : Phenylalanine AminoLyase  
**ppm** : Particule par million  
**V: Volume**  
**µg** : microgramme

# SOMMAIRE

Dédicace.....	i
Remerciements.....	ii
Résumé.....	iii
Abstract.....	iv
ملخص.....	v
Liste des figures.....	vi
Liste des Tableaux.....	vii
Liste des abréviations.....	viii
Introduction générale.....	1

## Etude bibliographique

### Chapitre I : Effets de la salinité sur le sol et sur les plantes

I. La Salinité.....	3
1.1-Définition de la salinité.....	3
1.2- Origines de la salinisation des sols.....	3
1.2-1 Salinisation géologique.....	4
1.2-2 Salinisation par les eaux.....	4
1.2-3 Conditions climatiques et salinisation.....	4
1.2-4 Salinisation par fertilisation.....	5
1.3- Répartition des sols salés.....	5
1.3-1 Dans le monde.....	5
1.3-2 En Algérie.....	6
1.4. Classification des sols salés.....	6
1.5-Notion de stress salin.....	7
II-Effet de la salinité sur le sol et les végétaux.....	8
2.1- Effets de la salinité sur le sol.....	9
2.2- Effets de la salinité sur les plantes.....	9
III. Tolérance des plantes à la salinité.....	11
3.1. Régulation ionique et compartimentation.....	12
3.2. Biosynthèse de solutés compatibles.....	13
3.3. Synthèse et accumulation de la proline.....	14
3.4. Induction des enzymes antioxydants.....	15
3.5. Induction des hormones végétales.....	15
3.6. Changement de la voie photosynthétique.....	16
Conclusion.....	17

### Chapitre II: Bentonite : Argile à fort pouvoir d'hydratation

1. Historique et origine.....	18
-------------------------------	----

2.1.4 - Taux final de germination .....	43
2.2- Effet du substrat sur l'apparition des symptômes foliaires .....	44
2.2.1 - Sans traitement à la salinité .....	44
2.2.2 - Avec traitement à la salinité .....	44
2.2.2.1-Mesure de la partie aérienne et souterraine .....	45
2.2.2.2 - Poids frais de la biomasse végétale.....	47
2.2.2.3 - Poids sec de la biomasse végétale.....	48
2.2.3 - Effets de la salinité sur les variations de la teneur relative en eau .....	49
2.3 - Effets de la salinité et du substrat sur la teneur en chlorophylle .....	50
2.3.1 - Teneur en sucres solubles.....	51
2.3.2 - Teneur en protéines totales solubles .....	52
2.4 - Bilan minéral du sodium et du potassium dans la plante.....	54
2.4.1 - Teneur en sodium .....	54
2.4.2 - Teneur en potassium .....	55
III.Discussion et Conclusion générale.....	57
Références bibliographiques.....	64
Annexes.....	79

Les changements climatiques deviennent de plus en plus contraignants pour la croissance et le développement des plantes notamment dans les zones arides et semi-arides (Higazy et *al.*, 1995 ; Lauchli et Eptein , 1990) et représentent une menace pour l'équilibre alimentaire (Kinet et *al.*,1998). Dans le monde, chaque année, les surfaces de sols perdues à cause du phénomène de salinisation sont en moyenne de 20 millions d'ha. Ainsi, ces surfaces sont passées de 48 millions à 265 millions d'ha de terres agricoles touchées par la salinité et aujourd'hui, les surfaces agricoles affectées dans le monde seraient de 340 millions d'ha soit 23% des terres cultivées dans le monde, (Cheverry, 1995). 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'ha (Belkhodja et Bidai, 2004).

Dans les sols affectés par la salinité, certaines espèces végétales sensibles sont menacées de dépérissement permanent, d'autres par contre, manifestent des mécanismes d'adaptation à la salinité exprimés par des modifications dans l'activité physiologique et dans le métabolisme cellulaire (Wang et *al.*, 2003 ; Hare et *al.*, 1997 ; Chamard, 1993 et Batanouny, 1993). Dans ce cas, la tolérance d'une plante à la salinité se définit par son aptitude à se développer normalement en conditions salines. Le degré de tolérance dépend du niveau d'agressivité saline mais aussi de la plante elle-même et de son stade physiologique actuel. En général, les plantes sont plus sensibles aux stades de germination et d'émergence qu'aux stades de maturité. Elles se différencient par leur capacité à maintenir des conditions favorables à leur fonctionnement physiologique en présence de fortes concentrations ioniques dans la solution du sol. Dans ces conditions, elles peuvent développer plusieurs types de stratégie en vue de maintenir leur équilibre fonctionnel : par exclusion et compartimentation, par hydratation osmotique et par régulation ionique (Ashraf et *al.*, 2004).

Pour palier au phénomène de la salinisation des sols, il est important de réfléchir à une stratégie qui permette, dans un premier temps, de faire un diagnostic actuel de l'état de dégradation des sols et dans un second temps, de mettre en œuvre les mesures préventives ou curatives qui s'imposent en vue d'une durabilité de la gestion hydroagricole de l'écosystème. Dans ce cas de figure, le diagnostic nécessite au préalable une bonne compréhension des mécanismes physiques et physiologiques qui interviennent dans la relation sol-eau-plante (continuum) en conditions de contraintes salines. Certains travaux de recherche effectués dans ce sens, envisagent de choisir des espèces végétales adaptées à un milieu de salinité donnée tout en assurant une gestion hydroagricole durable (Hasegawa et *al.*, 2000). Plusieurs autres travaux abordent le problème de la salinité par une amélioration des propriétés physiques des

sols contaminés en corrigeant leurs textures (par ajout d'argile ou de sable) et en assurant une gestion hydroagricole optimisée (Halilat M. T., 1998 ; Benkhelifa, 1997 et 2007).

C'est dans le cadre de cette dernière orientation que s'insère le présent travail qui se propose de contribuer à l'étude des effets de la salinité sur le comportement écophysologique et biochimique d'une variété de pois chiches (*Cicer arietinum L.*) au stade juvénile, stressée avec une eau de concentration saline croissante (0, 3, 6, 9, et 12 g.l<sup>-1</sup>) de NaCl et cultivée sur deux substrats (sable et sable bonifié).

L'objectif de cette étude est donc d'étudier les effets combinés de la salinité et d'une bonification du substrat sur le comportement écophysologique et biochimique d'une variété (ILC3279) de pois chiche (*Cicer arietinum*).

Le premier chapitre comporte une synthèse bibliographique sur les effets de la salinité sur les propriétés physiques des sols et sur le comportement éco-physiologique et biochimique des plantes.

Le second chapitre est consacré à la présentation de la Bentonite comme argile à fort pouvoir d'hydratation et de ses propriétés d'amélioration des caractéristiques physiques et hydriques des substrats sableux.

Le troisième chapitre fait l'objet d'une présentation de l'espèce végétale étudiée : *Cicer arietinum L.*

Le dernier chapitre comporte les résultats et discussions des données expérimentales réalisées dans le cadre de cette étude.

**PARTIE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

**CHAPITRE I :**  
**EFFETS DE LA SALINITÉ SUR LE SOL**  
**ET SUR LES PLANTES**

## I. La Salinité

Plusieurs contraintes environnementales sont limitantes pour la croissance et le développement des légumineuses. La salinité et la sécheresse sont considérés comme deux facteurs majeurs influant l'agriculture. Au Maghreb plus de 30% des eaux destinées à l'irrigation sont chargées en sels qui dans le temps conduisent à une accumulation des sels aussi bien dans la rhizosphère que dans les différentes parties de la plante. Au-delà de certains seuils de concentration, ces sels peuvent devenir toxiques et par conséquent entraîner des dégâts au niveau des ultrastructures cellulaires de la plante contribuant ainsi à la réduction de sa croissance et de son rendement. Les seuils critiques de concentration en sels vont dépendre de la sensibilité des variétés cultivées à la salinité (Rahmoune *et al.*, 2008)

En Algérie, près de 25% des terres irriguées sont confrontées au problème de la salinité qui affecte particulièrement les zones arides et semi-arides (Levigneron *et al.*, 1995).

### 1.1-Définition de la salinité

La salinité est la quantité de sels actuelle accumulée dans le profil d'un sol ou dans les organes d'une plante. De ce fait, la salinisation représente le processus par lequel les sels solubles s'accumulent dans le sol. La salinisation se présente comme étant la cause majeure de la dégradation des sols. Elle est à l'origine de la chute de production agricole dans les périmètres irrigués en zones arides et semi-arides. On estime que le monde perd au moins 3 ha de terres arables chaque minute à cause du phénomène de salinisation des sols (Ipitrid, 2006).

### 1.2- Origines de la salinisation des sols

La connaissance de l'origine de la salinité, du dynamisme de cette salinité dans le sol et de la nature des composées chimiques qui la constituent demeure un préalable indispensable à la compréhension et à l'amélioration des terrains salés.

Les sels solubles représentent toutes les espèces chimiques plus solubles à l'eau que le gypse. Leur concentration globale est généralement exprimée par la conductivité électrique qui représente en réalité la conductivité électrolytique (Halitim, 1988). En Algérie, les sels les plus fréquents dans les régions arides et semi-arides sont surtout les chlorures et les sulfates de sodium, les sulfates de magnésium et à un moindre degré les carbonates de sodium (Servant, 1978 ; Halitim, 1988).

Les différents types de salinisation sont :

### 1.2-1 Salinisation géologique

La source principale de sels dans le sol est les minéraux naturels de la croûte terrestre (Bryssine, 1961). En effet, durant le processus d'altération chimique, qui implique l'hydrolyse, l'hydratation, la dissolution, l'oxydation et la carbonatation, les sels sont libérés progressivement avant de subir une solubilisation. Cependant les causes premières de salinité sont fréquemment éloignées dans l'espace, du territoire prospecté (Gaucher et Burdin, 1974). Dans la plupart des cas, les sels sont apportés au sol par l'eau qui contient des sels solubles dont la nature et la concentration dépendent des matériaux géologiques avec lesquels l'eau a été en contact (Ussls, 1954).

### 1.2-2 Salinisation par les eaux

Généralement, ce sont les eaux de surface et les eaux de nappe souterraine qui constituent les principales sources de sels affectant l'agriculture irriguée. Concernant l'eau d'irrigation, le degré avec lequel s'opère la salinisation dépend de deux facteurs :

- La composition de cette eau, qui à son tour est fonction de la teneur en sel du sol et des matériaux géologiques avec lesquels elle a été en contact.
- Le bilan entre l'apport d'eau d'irrigation à la surface du sol et le déplacement de l'eau de drainage de la limite intérieure du profil.

En outre, les nappes des zones arides et semi-arides véhiculent des eaux souvent chargées en sels solubles, la source la plus importante de ces sels reste l'eau d'irrigation. Ainsi l'augmentation du niveau de la nappe phréatique, due à l'irrigation, favorise l'accumulation des sels en surface et ce, suite à une évapotranspiration intense. Stitou et Gallez, (1982), ont montré que des irrigations sans contrôle rigoureux des doses d'eau apportées et l'absence de drainage, ont entraîné une accumulation importante de sels dans le profil par remontée capillaire de la nappe.

### 1.2-3 Conditions climatiques et salinisation

Les climats comportent deux caractéristiques qui s'ajustent parfaitement aux mécanismes de la mobilisation et de l'accumulation des sels dans les profils des sols (Gaucher et Burdin, 1974) :

Un régime irrégulier des précipitations avec une dominance des averses brutales qui sont séparées par des périodes de sécheresse. Ce mécanisme de mobilisation des sels est assuré par les averses, qui peuvent éventuellement détacher des matériaux solides salés à

partir des gisements originels et les transporter par ruissellement. Ces eaux vont par la suite s'accumuler dans des zones de dépression et causer ainsi une remontée du niveau phréatique.

Une *saison sèche prolongée*, pendant laquelle la chaleur et l'insolation provoquent une évaporation intense : ce mécanisme s'opérant en période sèche, il est le résultat d'une évaporation qui provoque l'ascension des sels par remontée capillaire.

#### 1.2-4 Salinisation par fertilisation

A cause de leurs indices de salinité très élevés (tableau1), les fertilisants comme les nitrates et les engrais potassiques (chlorure de potasse) induisent la réduction de la perméabilité du sol et l'accumulation de sels.

**Tableau 01** : Indice de salinité de certains engrais (Tisdale et *al*, 1985)

Engrais	Indice de salinité globale
Ammonitrates	104,7
Sulfates d'ammonium	69,00
Urée	75,40
Superphosphate simple	07,80
Superphosphate triple	10,10
Chlorure de potasse	116,3
Sulfate de potasse	46,10
Diammonium phosphate	29,20
Moammonium phosphate	34,20
Potassium nitrate	73,60

Le terme *indice de salinité* s'applique à l'impact d'un élément en solution dans un sol par rapport au nitrate de sodium, qui est le point de référence 100. Il indique l'aptitude d'un engrais à brûler quand il est en contact avec la graine dans le sol, car certains éléments fertilisants placés près des graines ou au pied des plantes augmentent la pression osmotique de la solution du sol et par voie de conséquence provoquent des pertes sévères de récolte.

### 1.3- Répartition des sols salés

#### 1.3-1 Dans le monde

Les estimations de la superficie totale représentée par les sols salés dans le monde sont très variables d'un auteur à l'autre : pour Szablocs (1994), elle atteint 954832 millions d'hectare. Les sols salés ont un caractère azonal. Ils se rencontrent dans toutes les parties du monde (servant, 1976 ; Durand, 1983)

L'Afrique présente de vastes régions affectées par les sels (notamment les zones arides et à proximité grands fleuves) Cherbuy, 1991)

### 1.3-2 En Algérie

Selon le Houerou (1993), les sols salés occupent de vastes superficies (3.2 millions d'hectares de la superficie totale). Ils sont localisés au Nord qu'au sud ils s'expriment mieux entre les isohyètes 450mm semble être la limite supérieure des sols fortement sodiques (Djili, 2000). Selon FAO (2005), On rencontre plusieurs types de sols salés en Algérie localisés surtout dans les étages bioclimatiques arides et semi- arides.

### 1.4. Classification des sols salés

La classification des sols salés est définie par rapport à leurs caractéristiques physiques et chimiques mais aussi par rapport à la relation de cause à effet qui existe entre la croissance des plantes et le milieu contaminé dans lequel elles évoluent. Deux groupes principaux de sols salés se distinguent (Szabolcs , 1974) :

**Les sols salés** : contiennent suffisamment de sels solubles neutres à nuire à la croissance de la récolte de la plupart des plantes. Les sels solubles sont principalement des chlorures et des sulfates de sodium. Mais les sols salés contiennent également des quantités appréciables de chlorures et sulfates de calcium et de magnésium. C'est des sols qui se caractérisent par un complexe calcique : dans la solution du sol et dans le complexe adsorbant dominant le calcium et le magnésium par rapport au sodium et au potassium. La structure de ces sols reste stable même après dessalement.

Les sols salés ou halomorphes représentent une part importante de la surface totale des sols dans le monde (Cherbuy, 1991). Ils se différencient naturellement sous les climats plus ou moins arides, mais aussi tempérés, maritimes ou continentaux. Là où l'évaporation excède les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire (Bouteyre et loyer, 1992). Par ailleurs, le développement de l'agriculture irriguée dans le monde entraîne de plus en plus l'extension des terres contaminées par la salinité. Sous une mauvaise conduite de l'irrigation et en l'absence de réseaux de drainage fonctionnel se favorise rapidement une dégradation chimique et physique des sols (Shainberg I, et Shalhevet J, 1984 ; Sumner, 1993 ; Gassemi et al, 1995 ; Cheverry et Bourrié ; 1998) cités par Claud et al (2005).

On parlera en général de sol salé lorsque la conductivité électrique (CE) de l'extrait de pâte saturée exprimée en  $\text{mmhos.cm}^{-1}$  ou actuellement en  $\text{dS.m}^{-1}$  (déciSiemens) est supérieure ou égale à 4 (Calvet, 2003 ; Robert, 1996). La salinité d'un sol peut également s'apprécier par le biais du comportement de la plante qui sera considérée dans ce cas comme un bio-indicateur de la salinité.

**Les sols sodiques** : ce type de sols salés contient en grande quantités des sels du sodium capables d'hydrolyser le milieu en phase alcaline (principalement le  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

Ces deux grands groupes de sols affectés par les sels diffèrent non seulement par leurs caractéristiques chimiques, mais aussi par leurs propriétés physiques et biologiques ainsi que par leurs répartitions géographiques et géochimiques. Les deux catégories exigent également des approches différentes pour leur remise en état d'utilisation agricole.

Par ailleurs, l'excès de sels dans des sols salés n'affecte pas leur stabilité structurale. Dans ce cas, l'argile se trouve à l'état floculé à cause de l'absence du Na ou sa faible présence en teneur de sorte que ces sols gardent de bonnes propriétés physiques. En effet, leur structure est généralement bonne et leur perméabilité à l'eau peut parfois être plus importante que celle d'échantillons saints non contaminés par la salinité.

Dans les sols à complexe sodique, le sodium est pratiquement l'élément dominant dans la solution du sol par rapport aux autres alcalino-terreux, il se fixe préférentiellement à ces derniers dans le complexe échangeable. Dans ce cas, le rapport  $\frac{\text{Mg}+\text{Ca}}{\text{Na}+\text{K}} < 1$  dans la solution du sol (Duchaufour, 1988).

Les sols salés à complexe magnésien ont un comportement structural qui se rapproche de celui des sols sodiques particulièrement en l'absence de calcium en dehors des milieux calcaires et gypseux. Dans la solution du sol, le magnésium associé aux bicarbonates et carbonates (très peu solubles) entraîne une réaction alcaline. Par contre, associé aux sulfates et surtout aux chlorures (plus solubles), il assure un rôle tampon (SZABOLCS, 1989). Dans ce cas le rapport  $\frac{\text{Mg}+\text{Ca}}{\text{Na}+\text{K}} > 1$ .

### 1.5-Notion de stress salin

La notion physiologique du stress salin fut évoquée pour la première fois en 1868. A cette époque, les chercheurs découvraient que les plantes déclenchaient une série de réactions au stress salin pour maintenir l'équilibre de leurs organismes. Plutard, l'ensemble de ces réactions internes a été nommé homéostasie par le physiologiste américain Bradford (1915). L'association des trois notions : stress-homéostasie-adaptation, constitue l'approche biologique du stress et permet notamment d'en expliquer l'influence sur la plante. En effet, lorsque le stress est appliqué en deçà de certains seuils, il peut constituer un moyen qui permet à la plante de s'adapter aux contraintes environnementales, donc au maintien de sa vie.

Au niveau cellulaire, un stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de

l'homéostasie. Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress : les stress biotiques (dus à une agression par un autre organisme) et les stress abiotiques (qui sont dus principalement à des facteurs environnementaux) (Levitt, 1980 ; Zhu, 2002 et Vincent, 2006).

## II-Effet de la salinité sur le sol et les végétaux

Les principaux facteurs qui contribuent au développement du phénomène de salinisation sont : la rareté en précipitations accompagnée par de forte évaporation, l'irrigation avec de l'eau saline et des pratiques culturales non adaptées. Ces facteurs caractérisent les régions semi-arides et arides et accentuent les processus de salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures (Denden et *al.*, 2005).

L'étendue des sols contaminés par la salinisation augmente rapidement en raison des besoins accrus en nourriture qui obligent à produire plus et donc à exploiter davantage les ressources en sols parfois au détriment de l'équilibre écologique de l'écosystème. Cette situation fit appel à une forte activité de recherche, durant les trois dernières décennies, en vue d'étudier les paramètres qui régissent la réponse des cultures à la salinité (Madhava Rao et *al.*, 2006).

En plus du phénomène de salinisation secondaire liée à la gestion hydro agricole des périmètres irrigués, on peut rencontrer dans certains cas, le phénomène d'invasion marine qui peut s'étendre sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres des régions côtières tributaires des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau. Sous certaines conditions, l'eau salée propagée à l'intérieur des terres contamine les eaux de la nappe située à proximité de la mer. Par ailleurs, l'invasion des eaux douces par les eaux salées aura pour effet une dégradation des sols et une salinisation du milieu à court terme. En Algérie, ce problème s'est peu posé dans le passé mais durant les dernières années, on a décelé des intrusions d'eaux marines dans les nappes côtières d'Annaba et d'Oran (phénomène analogue au niveau de la sebkha). L'exploitation intensive et anarchique des nappes par l'agriculture a créé localement des problèmes de pollution et de dégradation du sol (Morsli, 2007)

Le phénomène de salinisation n'affecte pas uniquement les propriétés physiques et chimiques des sols mais également les cultures sur les plans physiologique, morphologique et par voie de conséquence touche les rendements agricoles.

## 2.1- Effets de la salinité sur le sol

Une grande quantité de sels solubles peut affecter les propriétés pédologiques, notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la chute de la conductivité hydraulique (Brady et Nyle, 1996 ; Daoud, 1993 ; Halitim, et al 1984 ; Aubert 1983 ; Agassi et al 1981 ; Chevery, 1972 et Servant, 1970).

D'après Allison (1964), tant que la solution du sol contient des quantités importantes de sels solubles, le sol demeure imperméable, et son pH est supérieur à 8,5. C'est le cas des sols sodiques qui contiennent des quantités excessives en  $\text{Na}^+$  échangeable. Dans ce cas, la matière colloïdale se disperse en provoquant un colmatage des pores, ce qui entraîne une forte chute de la perméabilité intrinsèque du sol et donc de son aération (Rhoades et Loveday, 1990 ; Rhoades, 1989 ; Bohn et *al.*, 1979 ; Szabolcs, 1979).

L'étude de l'interaction entre la salinité et la fertilité du sol montre que de fortes concentrations en sels, autres que le  $\text{Na}^+$ , affectent particulièrement la croissance et le développement des plantes via le substrat dans lequel elles se développent. C'est les sels de  $\text{Na}^+$  qui affectent les propriétés physiques du sol et en particulier sa stabilité structurale. Dans ce cas, le sol entre dans un processus de dégradation sous l'effet de la sodicité qui peut l'entraîner à des états de détérioration irréversible (Garg et *al.*, 1993).

## 2.2- Effets de la salinité sur les plantes

La salinité est une contrainte environnementale qui ne cesse de s'étendre dans les périmètres irrigués et est à l'origine de fortes pertes en rendement de cultures (Allakhverdiev et *al.*, 2000b in Parida et Das, 2005). La chute de rendement ne dépend pas uniquement de la quantité de sels présente dans la solution du sol mais aussi du degré de tolérance des plantes mises en culture. C'est pourquoi, les plantes diffèrent par leur sensibilité à la salinité qui varie d'une espèce à une autre. En règle générale, le rendement d'une culture est inversement proportionnel à la salinité du sol exprimée en termes de conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée. En effet, le stress salin conduit à une diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (Chartzoulakis et Klapaki, 2000).

Globalement, les plantes ont besoin d'une certaine quantité d'ions sous forme de sels pour leur croissance et leur développement mais les concentrations optimales au niveau racinaire sont relativement basses pour la plupart des plantes cultivées. Dans ce cas de figure, une forte concentration d'un sel conduit à la réduction de la vitesse d'expansion de la surface foliaire (Wang et Nil, 2000). Ceci est lié à la baisse d'activité de l'eau cellulaire, qui déstabilise les membranes et les macromolécules et entraîne la perte de turgescence des tissus. Le potentiel

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

Par ailleurs, la salinité cause une modification de l'épaisseur épidermique, l'épaisseur du mésophylle, la longueur et le diamètre des cellules palissadiques. C'est ce qui a été observé sur les feuilles de l'haricot, du coton et de l'Atriplex soumis au stress salin (Longstreth et Nobel, 1979 in Parida et Das, 2005). La salinité réduit aussi l'espace intercellulaire dans les feuilles (Delphine et al., 1998 in Parida et Das, 2005). La réaction de la plante à la salinité se fait initialement au niveau des racines qui synthétisent une hormone appelée acide abscissique (ABA), qu'elles véhiculent vers les parties aériennes où se déclenche le mécanisme de fermeture des stomates (Schroeder et al., 2001).

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

La salinité tout comme la sécheresse ont pour conséquence de réduire la photosynthèse nette par la réduction des échanges gazeux mais aussi de l'activité photochimique (Eastman & Camm 1995, Orcutt & Nilsen 2000, Godde 1999, Ortega et al. 2004). Les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber pendant une période prolongée de stress salin (Agastian et al., 2000). Par contre, Wang et Nil (2000) ont rapporté que le contenu de la chlorophylle augmente sous les conditions de salinité chez *Amaranthus*. Chez *Grevilea*, la protochlorophylle, la chlorophylle et les caroténoïdes diminuent significativement sous le stress salin, mais la vitesse du déclin de la protochlorophylle, la chlorophylle est plus importante que celle de la chlorophylle *a* et les caroténoïdes. Les pigments anthocyanines augmentent significativement dans ce cas de stress salin (Kennedy et De Fillippis, 1999 in Parida et Das, 2005).

La diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs : (1) la déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO<sub>2</sub>, (2) la toxicité du sel, (3) la réduction de l'approvisionnement en CO<sub>2</sub> à cause de la fermeture hydroactive des stomates, (4) la sénescence accrue induite par la salinité et (5) le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique. (Iyengar et Reddy, 1996 in Parida et Das, 2005).

L'accumulation des ions Na<sup>+</sup> dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup>. Il y aurait une compétition entre Na<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup> pour les mêmes sites de fixation apoplasmique. Les fortes concentrations en Na<sup>+</sup> 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 (Nimbalkar, 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.

Le stress salin cause aussi 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 super-oxydes, les radicaux hydroxyles et le peroxyde. Les espèces réactives de l'oxygène qui sont le produit des stress hyper osmotique et ionique causent des disfonctionnements dans la membrane et la mort cellulaire (Bohnert et Jensen, 1996 in Parida et Das, 2005).

L'activité de la nitrate réductase (NRA) diminue dans les feuilles de beaucoup de plantes pendant le stress salin (Flores et *al.*, 2000). La première cause de la réduction de la NRA dans les feuilles est un effet spécifique associé à la présence de sel de  $Cl^-$  dans le milieu externe. L'effet de ce dernier semble être dû à la réduction de l'absorption du  $NO_3^-$  et par conséquent une concentration réduite en cet élément dans les feuilles, bien que l'effet direct du  $Cl^-$  sur l'activité de l'enzyme qui ne peut être écarté (Flores et *al.*, 2000). Chez le maïs le taux des nitrates diminue dans les feuilles, mais augmente dans les racines sous le stress salin et la NRA des feuilles diminue aussi dans la salinité (AbdElBaki et *al.*, 2000 in Parida et Das, 2005)

### III. Tolérance des plantes à la salinité

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

A l'échelle de la plante entière, les ions chlorure et sodium entrent par les racines, sont véhiculés par la sève xylémique jusqu'aux tiges et feuilles. Là, ils sont stockés (plantes

inclusives), soit au contraire très peu retenus et mobilisés par la sève phloémique jusqu'aux racines (plantes exclusives) (Denden et *al.*, 2005)

La tolérance de la salinité est l'habilité des plantes à croître et compléter leur cycle de vie sur un substrat contenant une forte concentration en sels solubles. Les plantes qui peuvent survivre en milieux concentrés en sels dans la rhizosphère et croître normalement sont appelées halophytes. Dépendant de leur forte capacité à tolérer les sels, les halophytes sont caractérisées par une faible diversité morphologique et taxonomique avec une vitesse de croissance relative qui augmente même en conditions d'irrigation avec une eau de mer diluée à 50%. Certaines espèces halophytes se trouvent dans des habitats de salinité moindre tout au long des frontières entre les montagnes salines et non salines et sont caractérisées par une plus grande diversité physiologique qui leur permet de faire face à des conditions plus ou moins salines.

Les plantes Glycophytes développent un nombre important de mécanismes biochimiques et cellulaires pour faire face au stress salin. Les stratégies biochimiques comprennent : l'accumulation sélective ou l'exclusion des ions, le contrôle de l'absorption racinaire des ions et leur transport dans les feuilles, la compartimentation des ions au niveau cellulaire et au niveau de toute la plante, la synthèse de solutés compatibles, le changement dans le chemin de la photosynthèse, l'altération de la structure membranaire, l'induction des enzymes anti oxydatives et l'induction des hormones végétale.

### 3.1. Régulation ionique et compartimentation

L'absorption ionique et la compartimentation sont importantes non seulement pour la croissance normale mais aussi pour la croissance sous des conditions de salinité (Adams et *al.*, 1992b in Parida et Das, 2005) parce que le stress perturbe l'homéostasie ionique. Les plantes qu'elles soient glycophytes ou halophytes, ne peuvent tolérer une grande quantité de sel dans le cytoplasme, et par conséquent sous des conditions de salinité, elles limitent l'excès de sel dans la vacuole ou compartimentent les ions dans différents tissus pour faciliter leurs formes métaboliques (Zhu, 2003).

Les glycophytes limitent l'absorption ou la translocation du sodium dans les tissus âgés qui servent de compartiments de stockage qui sont éventuellement sacrifiés. (Cheeseman, 1988 in Parida et Das, 2005). La suppression du sodium du cytoplasme ou la compartimentation dans les vacuoles est réalisée par des enzymes induites par le sel : le transporteur membranaire (antiport)  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  (Apse et *al.*, 1999 in Parida et Das, 2005).

Deux pompes  $H^+$  électro-géniques, le type  $H^+$ -ATPase vacuolaire (V-ATPase) et la pyrophosphatase vacuolaire (V-PPase), coexistent dans la membrane des plantes (Dietz et *al.*, 2001 in Parida et Das, 2005). La V-ATPase est indispensable pour le développement des plantes dans des conditions normales dues à son rôle en activant le transport secondaire, le maintien de l'homéostasie des solutés et probablement faciliter la fusion des vésicules.

Sous des conditions de stress : salinité, sécheresse, froid, anoxie, l'excès des métaux lourds dans le sol, la survie des cellules dépend fortement du maintien de l'activité de la V-ATPase. Dans le stress salin, les plantes maintiennent de fortes concentrations de  $K^+$  et de faibles concentrations de  $Na^+$  dans le cytosol et cela par la régulation de l'expression et de l'activité des transporteurs de  $K^+$  et  $Na^+$  et les pompes  $H^+$  qui produisent la force qui agit sur le transport. (Zhu et *al.*, 1993 in Parida et Das, 2005).

D'autre mécanisme pour la régulation du sel sont la sécrétion du sel et l'accumulation sélective du sel ou l'exclusion. La sécrétion du sel se produit par le développement de structures cellulaires uniques appelées les glandes excrétrices du sel. Ces glandes sécrètent le sel (spécialement le NaCl) des feuilles et maintiennent la concentration interne des ions à un niveau bas (Hagarth., 1999 in Parida et Das, 2005). L'exclusion du sel se produit dans les cellules pour réguler le taux du sel dans les feuilles de certaines halophytes ( Levitt, 1980 in Parida et Das, 2005). L'accumulation sélective des ions ou des solutés entraîne une augmentation dans la rétention de l'eau et /ou l'exclusion du sodium.

### 3.2. Biosynthèse de solutés compatibles

Pour adapter l'équilibre ionique dans la vacuole, le cytoplasme accumule des composés de petite masse moléculaire nommés solutés compatibles parce qu'ils n'interfèrent pas avec les réactions normales biochimiques (Zhifang et Loescher, 2003 in Parida et Das, 2005), en revanche il remplace l'eau dans les réactions chimiques. Ces solutés compatibles comprennent principalement la proline (Singh et *al.*, 2000 in Parida et Das, 2005), la glycine bêtaïne (Wang et Nil, 2000 in Parida et Das, 2005), les sucres ( Pilon-Smits et *al.*, 1995 in Parida et Das, 2005) et les polyols (Bohnert et *al.*, 1995 in Parida et Das, 2005). Les polyols sont classifiés comme acycliques (mannitol) et cycliques (pinitol). Le mannitol, un sucre qui sert comme soluté soluble pour faire face au stress salin, est synthétisé via l'action de la mannose-6-phosphate réductase (M6PR) chez le céleri (Zhifang et Loescher, 2003 in Parida et Das, 2005). Les polyols agissent par deux manières qui sont difficiles à séparer : ce sont l'ajustement osmotique ou osmoprotection. Dans l'ajustement osmotique, les polyols agissent

comme des osmolytes pour faciliter la rétention de l'eau dans le cytoplasme et permettent la séquestration du NaCl à la vacuole ou l'apoplaste.

Les osmolytes protègent la structure cellulaire en interagissant avec les membranes, complexes protéiques, ou enzymes. Ces composés ont des caractéristiques de liaisons d'hydrogène qui leurs permettent de protéger des macromolécules des effets néfastes de l'augmentation de la force ionique dans les milieux avoisinant (Crow et *al.*, 1992 in Parida et Das, 2005). Par une association étroite entre les protéines et les composants de la membrane, les polyols compensent la perte de l'eau pendant le stress (Yancey et *al.*, 1982 in Parida et Das, 2005).

Les hydrates de carbones comme les sucres (le glucose, le fructose, la saccharose et le fructane) et l'amidon s'accumulent sous l'effet du stress salin (Parida et *al.*, 2002). Chez *Vicia faba* la salinité cause la diminution des sucres solubles (Gadallah, 1999 in Parida et Das, 2005). Sous les conditions de salinité, le taux d'amidon diminue dans les racine du riz mais ne change pas dans la partie aérienne (Parida et *al.*, 2002). Dans les feuilles de la tomate, le taux des sucres solubles et des saccharides solubles augmente significativement mais le taux de l'amidon n'est pas affecté par le traitement du NaCl (Khavarinejad and Mostafi, 1998 in Parida et Das, 2005). La proline s'accumule dans les feuilles, les tiges et les racines de *Pringlea antiscorbutica* et cet osmolyte s'accumule 2 à 3 fois plus dans le cytoplasme que dans la vacuole (Aubert et *al.*, 1999 in Parida et Das, 2005).

Mattioni (1997, in Parida et Das, 2005) a rapporté que chez le blé dur (*Triticum durum*) la plupart des acides aminés montrent une augmentation avec l'induction du stress salin ou hydrique. Mais la proline augmente nettement plus que les autres acides aminés et l'activité de l'enzyme D delta (1)-pyrroline-5 carboxylate réductase, impliquée dans la biosynthèse de la proline, augmente durant le stress hydrique et salin, alors que l'activité de la proline déshydrogénase impliquée dans le catabolisme de la proline est inhibée seulement durant le stress salin. Le point commun chez les solutés compatibles est que ces composés peuvent être accumulés à des taux élevés sans perturber la biochimie intracellulaire (Bohert et Jensen 1996 in Parida et Das, 2005).

### 3.3. Synthèse et accumulation de la proline

La proline désigné généralement sous le nom de soluté compatible chez les eubactéries, les algues, et les plantes supérieures. L'accumulation de la proline est due principalement à la synthèse de novo, et deuxièmement à un taux réduit du catabolisme, et finalement aux systèmes de transport spécifiques qui diffusent la proline aux endroits de

besoin. Deux voies possibles de la synthèse de proline ont été démontrées chez les plantes. La première utilisant le glutamate et la deuxième emploie l'ornithine comme précurseur. La dégradation de proline chez les plantes a lieu dans des mitochondries et est catalysée par la proline déshydrogénase (ProDH), également appelée proline oxydase. On a démontré que la dégradation de la proline est inhibée sous le stress hydrique et salin. Une diminution dans le niveau de ProDH ARN m et de l'activité de ProDH a pour conséquence l'accumulation de la proline. (Messedi et *al.*, 2006).

### 3.4. Induction des enzymes antioxydants

Le stress salin est complexe et implique un déficit hydrique à cause des effets osmotiques sur une large variété d'activités métaboliques (Cheeseman, 1988 in Parida et Das, 2005). Ce déficit hydrique conduit à la formation des espèces réactives d'oxygène (ROS) comme le superoxyde, le peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), le radical hydroxyle (OH) et l'oxygène singulet (O<sub>2</sub>) (Elstner, 1987 in Parida et Das, 2005). Les espèces d'oxygènes cytotoxiques activées peuvent perturber sérieusement le métabolisme à travers un dommage oxydatif des lipides, des protéines ou des acides nucléiques (Linn, 1988 in Parida et Das, 2005). Les plantes se défendent contre ces espèces réactives de l'oxygène avec l'induction des activités de certains enzymes antioxydants comme la catalase, peroxydase, glutathion réductase et le superoxyde dismutase ce qui élimine les ROS.

### 3.5. Induction des hormones végétales

La concentration élevée du sel déclenche une augmentation dans les taux des hormones végétales, comme l'ABA et les cytokinines (Vaidyanathan et *al.*, 1999 in Parida et Das, 2005). L'acide abscissique est responsable de l'altération des gènes induits par le stress salin. Les gènes inductibles de l'ABA sont prévus de jouer un rôle important dans le mécanisme de la tolérance au sel chez le riz (Gupta et *al.*, 1998 in Parida et Das, 2005). Pendant le stress salin il y a une augmentation au niveau de la production de l'ABA et l'éthylène chez *Citrus sinensis* (Gomez-Cadenas et *al.*, 1998 in Parida et Das, 2005). Il s'est avéré que l'ABA vient alléger l'effet inhibiteur du NaCl sur la photosynthèse, la croissance et la translocation des assimilats (Popov et *al.*, 1995 in Parida et Das, 2005).

L'ABA favorise le passage de la forme C<sub>3</sub> à la forme CAM chez *M. crystallinum* pendant le stress salin (Thomas et *al.*, 1992 in Parida et Das, 2005). L'ABA favorise la fermeture des stomates en changeant le flux des ions dans les cellules de gardes sous les

conditions de stress salin. On a montré que l'augmentation de l'absorption de  $\text{Ca}^{2+}$  est liée à l'augmentation de l'ABA dans le cas du stress salin et donc contribue au maintien de l'intégrité membranaire, ce qui permet aux plantes de réguler l'absorption et le transport dans le cas d'excès de la salinité à long terme (Chen et *al.*, 2001). Il a été rapporté que l'ABA réduit la libération de l'éthylène et l'abscission foliaire en condition de stress chez le *Citrus* probablement en diminuant l'accumulation de l'ion toxique  $\text{Cl}^-$  dans les feuilles (Gomez-Cadenas et *al.*, 2002).

### 3.6. Changement de la voie photosynthétique

Le stress salin inhibe la photosynthèse par la réduction du potentiel hydrique. Dans ce cas, le principal but de la tolérance à la salinité est d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau en conditions salines. Par ce biais, les halophytes facultatives comme *M. crystallinum* changent leur mode de photosynthèse de C3 en CAM (Cushman et *al.*, 1989 in Parida et Das, 2005). Ce changement permet aux plantes de réduire la perte de l'eau par l'ouverture des stomates la nuit, donc réduire la perte de l'eau par la transpiration sous des conditions de salinité prolongée. Il y a aussi changement du mode C3 au mode C4 en réponse à la salinité chez les espèces tolérantes à la salinité comme *Atriplex lentiformis* (Zhu and Meinzer, 1999 in Parida et Das, 2005).

**Conclusion**

Dans cette étude bibliographique, nous avons conclu que les plantes ont une sensibilité plus importante vis-à-vis à la salinité.

La salinité des sols et des eaux d'irrigation dans les régions arides et semi-arides constituent Un obstacle majeur à la croissance des végétaux, et l'un des facteurs limitatifs de la productivité végétale et du rendement agricole, surtout en cas de sécheresse ou d'utilisation de mauvaise qualité des eaux.

Toutefois, les effets du sel sur les plantes offre une gamme importante de critères physiologiques et biochimiques qui peuvent être à la base de tests rapides pour prévenir ou réduire les dégâts causée par la salinité. Dans ce cas, il est possible de sélectionner des plants pour leur tolérance au sel, ou améliorer les caractéristiques chimiques des eaux et des sols.

## 1. Historique et origine

La bentonite est une argile colloïdale dont le nom vient de Fort Benton lieu où elle a été découverte en 1888 aux USA dans l'état du Wyoming. Elle désigne généralement une poudre minérale constituée essentiellement de montmorillonite.

Du point de vue minéralogique, la néoformation des minéraux argileux est généralement issue de l'altération et de la transformation hydrothermale des cendres de tufs volcaniques.

En Algérie, il existe deux gisements de bentonite de grande importance économique qui se trouvent dans l'ouest Algérien : le gisement de Maghnia (Hammam Boughrara) dont les réserves sont estimées à onze million de tonnes et celui de Mostaganem (M'Zila) dont les réserves sont de 1,1 millions de tonnes (Benkhelifa, 2007).

## 2-Structure des argiles

La structure des argiles est constituée par un empilement de feuillets. Un feuillet est constitué d'un arrangement de deux types de couches.

- *couche tétraédrique* à base de silice. Les éléments Si-O des argiles se disposent selon une géométrie hexagonale typique qui donne lieu à une séquence appelée tétraédrique (Te) (Fig. 1-a)
- *couche octaédrique* à base d'hydroxyde d'aluminium. Les éléments Al-OH sont disposés en forme de petits feuillets octaédriques (Oc) (Fig. 1-b)

Les arrangements de ces deux types de couches définissent les catégories principales des minéraux argileux.



**Fig. 1 :** Représentation schématique d'un feuillet-phylosilicate 2:1 (Luckham et Rossi, 1999)

**CHAPITRE II**

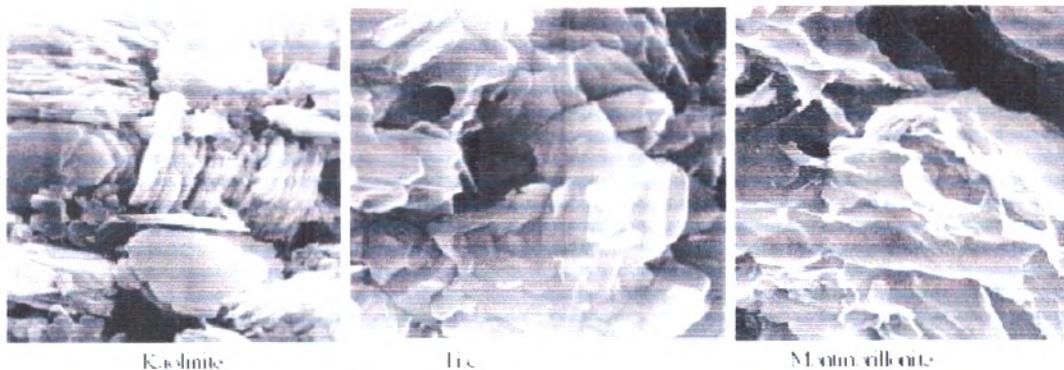
**BENTONITE : ARGILE À FORT**

**POUVOIR D'HYDRATATION**

### 3- Propriétés et caractéristiques de la bentonite

Pour comprendre les caractéristiques de la bentonite, il est important de considérer les différents types de minerais et leurs principaux constituants physico-chimiques.

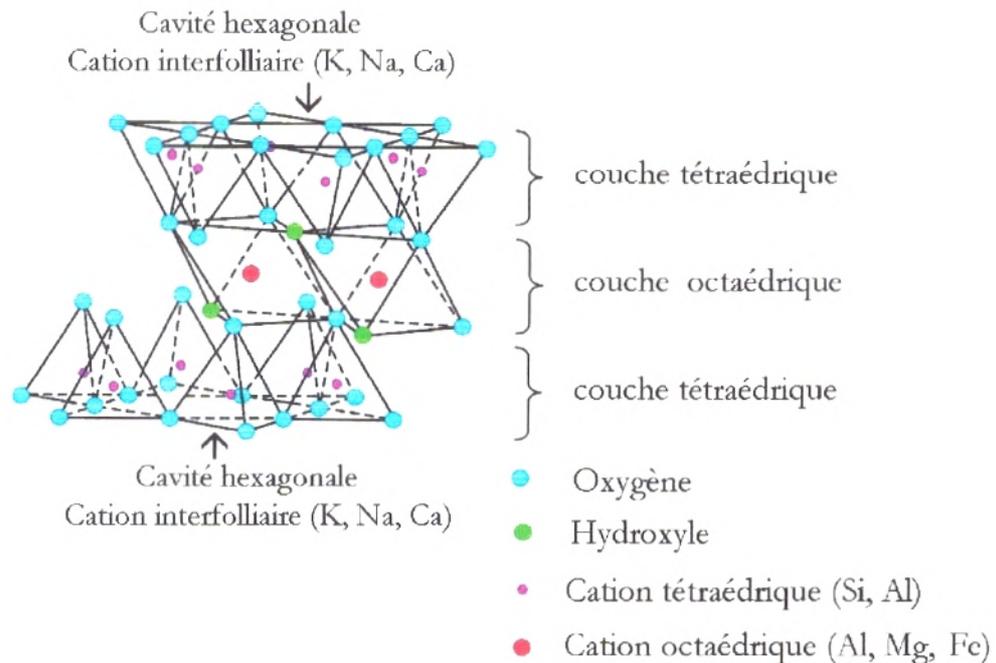
- Les bentonites se caractérisent par une forte capacité d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement ainsi que par des propriétés rhéologiques particulières.
- Sur le plan minéralogique, la bentonite est un silicate d'alumine hydraté du groupe des Montmorillonites qui contiennent principalement divers cations échangeables. Ainsi, il existe des bentonites qui sont riches en sodium, d'autres en calcium, potassium ou magnésium.
- L'organisation de la microstructure de la bentonite du feuillet à l'assemblage d'agrégats (Fig. 2), montre qu'elle diffère des autres argiles telles que l'Illite et la Kaolinite par la dimension, la forme et la distribution des espaces poraux dépendant elles mêmes de la granulométrie, du pouvoir gonflant mais aussi du fluide interstitiel et des contraintes auxquelles la bentonite est soumise (Touret *et al.*, 1990).



**Fig 2 :** Microstructures de 3 types d'argile obtenues au MEB (Microscopie Electronique à Balayage) (Mitchell, 1976).

- L'argile constituée des matériaux appelés les phyllosilicates sont des silicates dans lesquels les tétraèdres de  $\text{SiO}_4$  forment des feuillets infinis bi-dimensionnels. Ces feuillets tétraédriques sont condensés avec des octaèdres d'oxydes métalliques dans un rapport 2:1 ou 1:1. L'organisation structurale des phyllosilicates est basée sur les ions  $\text{O}^{2-}$  et  $\text{OH}^-$  (Caillère *et al.* (1982). Dans les cavités de ces unités structurales élémentaires ils existent des cations de tailles

variables ( $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) 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. Les différents groupes de minéraux argileux se différencient par l'arrangement de leurs couches tétraédriques et octaédriques (Fig. 3)



**Fig.3 :** Représentation schématique d'un feuillet de phyllosilicate 2:1 (Luckham et Rossi, 1999)

- La capacité d'échange cationique (CEC) de la montmorillonite oscille généralement entre 70 et 120 meq.100g<sup>-1</sup>. Outre leur structure multi-échelles, une autre propriété des montmorillonites est leur capacité à absorber une grande quantité d'eau, les cations interfoliaires compensateurs étant hydratables. Cette capacité à absorber une grande quantité d'eau est due à deux facteurs : la surface spécifique importante qui comporte un grand nombre de cations compensateurs hydrophiles d'une part, et la flexibilité des feuillets qui permet de créer des pores au sein des feuillets, des particules et des agrégats d'autre part.
- Les mécanismes de gonflement des montmorillonites peuvent être décomposés en deux phases distinctes : le gonflement cristallin et le gonflement osmotique.

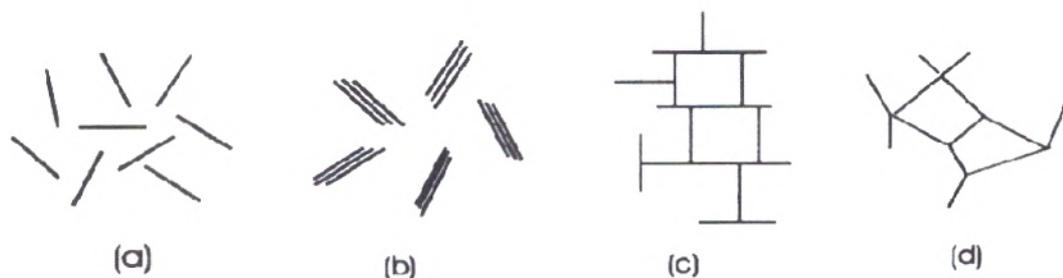
Le gonflement cristallin permet une augmentation de distances interfoliaires de 0,96 à 2 nm. Le gonflement osmotique, appelé aussi gonflement macroscopique ou libre, se produit lorsque l'énergie d'hydratation est supérieure à celle des forces électrostatiques attractives entre feuillets (Tessier, 1984).

Lorsque la concentration en argile est faible (suspension diluée), les particules de bentonite ne se présentent pas associées. Cet état stable est expliqué par l'absence d'interaction entre les particules car les doubles couches électroniques des feuillets se repoussent mutuellement (Callaghan et Ottewill, 1974). Pour de plus fortes concentrations en argile, trois différentes formes peuvent se présenter (Fig. 4) :

**a) Etat dispersé** : c'est le cas d'une argile très diluée.

**b) Organisation face à face** : elle est due aux interactions des doubles couches électriques de deux feuillets. Elle peut entraîner l'agrégation des feuillets lorsque les deux doubles couches coalescent et que les feuillets ne sont plus séparés que par une couche médiane de cations positifs.

**c) et d) Organisations bord-face et bord-bord** : Les bords des feuillets de montmorillonite sont des liaisons rompues de silice et d'alumine.



**Fig.4-** Modes d'associations supposés des feuillets de montmorillonite en suspension : (a) dispersion, (b) agrégation face-face, (c) association bord-face, (d) association bord-bord (Van Olphen, 1964)

- La surface spécifique des argiles est composée de la surface externe comprise entre les particules et la surface interne correspondant à l'espace interfoliaire. L'augmentation de la surface spécifique donne un pouvoir de gonflement plus important et par conséquent un potentiel de gonflement plus élevé.

- Par ailleurs, les argiles confèrent au sol sa structure et ses propriétés mécaniques. Elles sont associées aux autres composants et constituent les complexes argilo-humiques ou (organo-minérales), leur teneur peut atteindre 50 %. Elles sont généralement à l'état floculé, généralement par l'action des ions  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{H}^+$ , ce qui donne au sol ses qualités agronomiques : bonne aération entre les agrégats, retrait modéré à la dessiccation, bonne perméabilité à l'air et l'eau. Les caractéristiques physiques des principales argiles sont résumées dans le tableau 2.

**Tableau.2** - Caractéristiques physiques des argiles.

Argile	Type	Nombre de feuilles par particule	Diamètre d'une particule ( $\mu\text{m}$ )	Épaisseur d'une articule ( $\mu\text{m}$ )	Surface spécifique en $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$	CEC en $\text{meq}\cdot 100\text{mg}^{-1}$
Kaolinite	1:1	100-200	0,1 – 4	1 – 10	10 – 20	3 – 15
Illite	2:1	1-10	0,1 – 1	0,003–0,01	65-100	10-40
Montmorillonite (smectite)	2:1	1	0,1	0,001	700-840	80-150
Chlorite	2:1:1	1	0,1	0,005	800	10 - 40

#### 4-Pouvoir d'hydratation de la bentonite

Il est à rappeler que la matière colloïdale des argiles possède un pouvoir d'hydratation, pour la bentonite un gramme d'argile peut retenir jusqu'à 20 grammes d'eau. Ce phénomène d'ordre capillaire résulte de la fine granulométrie des particules colloïdale ainsi que de la présence de charges à la surface des feuillets qui favorisent les interactions bentonite-eau. En présence d'eau, la bentonite peut se constituer sous forme de gel quand ses particules sont dispersées. Dans ce cas, l'argile se trouve à l'état hydraté. Ce comportement forme un réseau très souple, aux propriétés importantes de viscosité et de thixotropie ( Jozja, 2003).

La stabilité des suspensions colloïdales dispersées est influencée par la charge électrique existant à l'interface entre la particule et le milieu liquide. Elle est aussi liée à la nature des cations compensateurs et aux dimensions et interactions entre les "doubles couches électriques" existant autour de chaque particule. C'est pourquoi, les particules argileuses présentent une charge négative sur leurs surfaces extérieures ( Le Pluart, 2002 ; Caillère et *al.*, 1982).

Les propriétés d'hydratation, de gonflement et de dispersion n'existent que parce que l'énergie de cohésion interfoliaire est suffisamment faible pour que les

molécules d'eau puissent pénétrer entre les feuillets (Bérend, 1991 ; Ben Rhaiem *et al.*, 1986 ; Pons, 1980).

### 5-Rôle des cations compensateurs

Du point de vue minéralogique il existe deux types des cations compensateurs. On est arrivé à relier le gonflement des particules argileuses à l'hydratation des cations en classant ces derniers par valeur décroissante de leur énergie d'hydratation réduite. Ce classement est bien logique à partir du moment où les cations  $\text{Li}^+$  et  $\text{Na}^+$  permettent d'obtenir une dispersion maximale alors que les cations  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Cs}^+$  ne permettent qu'une hydratation limitée.

Faisandier (1997) montra que le potassium provoque la formation d'un système hétérogène où coexistent, au sein d'une même particule, des feuillets de smectite hydratés et des feuillets collapsés. Les vides qui se trouvent entre les feuillets peuvent être occupés par des cations. Ces cations rétablissent l'électroneutralité de la particule argileuse et en même temps assurent la liaison entre les feuillets adjacents. Ces cations peuvent être soit «secs» soit hydratés.

Le remplacement en nombre suffisant d' $\text{Al}^{3+}$  par  $\text{Fe}^{2+}$  ou  $\text{Mg}^{2+}$  produit un excès en charges négatives sur la particule argileuse et permet de former des complexes relativement stables avec des cations ou des molécules dipolaires.

Si des remplacements isomorphiques de  $\text{Si}^{4+}$  par  $\text{Al}^{3+}$  se produisent, un excès de charges négatives est localisé beaucoup plus près des oxygènes de la surface, permettant ainsi la formation de complexes très forts avec des cations ou des molécules d'eau.

### 6-Adsorption

L'adsorption est un phénomène physique de fixation des constituants d'une phase liquide ou gazeuse sur une surface solide. Ce phénomène présente plusieurs cas de figure :

- Dans le cas de l'adsorption de macromolécules *neutres* sur des argiles, leur fixation à la surface est due à la création de liaisons hydrogène entre des groupes hydroxyles, quand il y en a, et des atomes fortement électronégatifs comme l'oxygène. Des liaisons de type Van Der Waals sont également envisageables (Luckham et Rossi, 1999).

- L'adsorption d'un polymère ou tensioactif *cationique* sur une surface chargée négativement se fait par interactions Coulombiennes entre les groupes cationiques du polymère et la surface d'argile (Alemdar *et al.*, 2005a ; Isci *et al.*, 2005 ; Janek et Lagaly, 2003 ; Breen, 1999 ; Dau et Lagaly, 1998).
- En fonction de la salinité du milieu, on peut observer deux processus complémentaire (Feret, 1992 ; Tadros, 1996) :
  - Aux faibles forces ioniques, la quantité de molécule adsorbée atteint rapidement une valeur limite peu élevée. D'après Feret (1992), il peut s'agir d'une adsorption de type électrostatique sur les faces latérales de l'argile chargée positivement.
  - Aux salinités plus élevées, l'adsorption est plus importante. Dans ce cas, les macromolécules s'adsorbent sur l'ensemble de la surface de l'argile, par des liaisons hydrogène, grâce à l'écrantage des répulsions électrostatiques.

#### **a) Adsorption physique**

L'adsorption physique est l'attraction entre les molécules adsorbantes composant la surface du solide et les molécules du soluté de la phase fluide. Elle est caractérisée par une faible énergie de liaison et elle correspond aux liaisons de nature électrostatique, ces forces dites de Van der Waals.

#### **b) Adsorption chimique**

Elle résulte d'une interaction chimique entre les molécules adsorbantes composant la surface du solide et les molécules de soluté. Elle est caractérisée par une énergie élevée et correspond aux liaisons covalentes plus permanentes entre l'adsorbant et la molécule adsorbée, le temps de rétention est long.

Trois principaux mécanismes d'adsorption ont pu être clairement identifiés:

- il peut se former des complexes de sphères internes, qui mettent alors en jeu la cavité hexagonale des argiles.
- les cations adsorbés peuvent apparaître sous forme de complexe de sphères externes, qui incluent la sphère de solvatation des cations. Enfin, si l'ion solvaté ne forme pas de complexe avec un groupement fonctionnel chargé de la surface, mais interagit avec la surface seulement de façon délocalisée, il se trouve alors dans ce qu'on appelle une couche diffuse.

- ce dernier mécanisme "d'adsorption" met en jeu des ions qui demeurent totalement dissociés de la surface et sont libres de se déplacer dans la solution aqueuse environnante.

### 7- 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 M'zila. Ce matériau est destiné essentiellement à l'industrie pétrochimique (Bental., 2002). La bentonite de Mostaganem est sodique. Ce qui lui confère un fort indice de gonflement par rapport à celui de la bentonite de Maghnia qui est saturée calcique. Quelques propriétés physiques et chimiques de la bentonite de Mostaganem sont résumées dans les Tableaux 3 et 4.

**Tableau 3** : Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite de Mostaganem (Benkhelifa, 2007)

<b>pH</b>		-	8,70
<b>CEC cobaltihexamine</b>			49,90
<b>Elements échangeables</b>	Calcium (Ca)	cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	20,60
	Magnesium (Mg)		18,50
	Sodium (Na)		17,90
	Potassium (K)		0,63
<b>Métaux</b>	Fer (Fe)		<0,05
	Manganèse (Mn)		<0,05
	Aluminium (Al)		0,04
<b>Rapport (Na)/CEC</b>		%	35,87

**Tableau 4** : Composition chimique (en %) de bentonite de Mostaganem (Bendjama, 1982)

Élément chimique	Pourcentage (%)	Élément chimique	Pourcentage (%)
SiO <sub>2</sub>	64,63	MgO	3,35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,35	Na <sub>2</sub> O	1,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,44	K <sub>2</sub> O	1,01
CaO	4,02		

### 8-Utilisations de la bentonite

La bentonite est largement utilisée dans de nombreux secteurs industriels (pharmacie, cosmétique, chimie, génie civil, agroalimentaire, fonderie, agriculture...). Elle est utilisée dans la protection de l'environnement sous forme

pâteuse ou à l'état de poudre pour constituer des barrières étanches de stockage des déchets industriels et ménagers (géomembrane) ainsi que les déchets radioactifs (barrière ouvragée en poudre compactée).

A l'état liquide, la boue de bentonite se définit comme une *suspension eau-argile* fortement utilisée comme boue dans les forages pétroliers en tant que lubrifiant mais aussi refroidissant (Besq, 2000). C'est pourquoi l'essentiel de la production du gisement de Mostaganem est orientée vers l'industrie pétrochimique.

Les autres utilisations de la bentonite peuvent être résumées dans le tableau suivant :

**Tableau 5** : Production de la bentonite de Mostaganem en fonction de son utilisation (Bental, 2002)

<b>Utilisation de la bentonite</b>	<b>Production, tonnes.an<sup>-1</sup></b>	<b>Pourcentage</b>
Forage	12 000	70,59
Fonderie	2 000	11,76
Charge (enrobage des engrais)	3 000	17,65
Total	17 000	100,00

CHAPITRE III  
IMPORTANCE DE LA CULTURE DU  
POIS CHICHE

## Introduction

Les légumineuses alimentaires sont parmi les cultures vivrières les plus cultivées par l'homme. Elles constituent une importante source protéique et se présentent comme un substitut aux protéines animales, disponibles à travers les viandes rouges et blanches qui sont difficilement accessibles à de larges couches de la population. Les Légumineuses sont une source importante d'azote pour le sol par leur capacité à fixer l'azote atmosphérique. (Hamadache et *al.*, 1997). Leur contribution annuelle à la fixation est estimée à environ 65 millions de tonnes d'azote atmosphérique intégrés dans la biosphère (Graham et Vance, 2003). Ce qui est très favorable à la fertilité des sols grâce à la symbiose fixatrice d'azote avec des souches bactériennes du genre *Mesorhizobium* (Liu et *al.*, 2003).

Le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) est en importance, la troisième légumineuse alimentaire cultivée dans le monde. L'espèce occupe une grande place dans nos habitudes alimentaires est fait l'objet d'une forte demande de la part des ménagères. La production actuelle de pois chiche en Algérie est faible et les surfaces occupées par cette espèce sont en diminution (Abdelguerfi-Laouar et *al.*, 2001)

### 1 - Historique et origine

Le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) est la troisième légumineuse alimentaire cultivée dans le monde, après le haricot et le petit pois. Avec une production mondiale moyenne de 9 millions de tonnes sur 11 millions d'hectares (Gan et *al.*, 2006 ; Goodwin, 2005 ; Saxena, 1990).

Le pois chiche est originaire du Moyen-Orient, plus précisément du sud-est de la Turquie et de la Syrie (Singh 1997 ; Smithson et *al.* 1985 ; Saxena 1984). Il arriva sur les côtes du bassin méditerranéen après avoir traversé de nombreux pays et les Phéniciens pourraient être à l'origine de cette diffusion (Anonyme, 2003).

### 2 - Importance de la culture dans le monde

Le pois chiche est cultivé dans plus de 45 pays dans le monde : en Asie et en Orient mais plus particulièrement en Inde où la production couvre près 70% des besoins à l'échelle mondiale (Skrypetz, 2004). En Afrique et en Amérique, la production ne couvre que respectivement 4% et 3% des besoins mondiaux en pois chiche (Singh, 1990).

Cette culture représente une source de protéines de qualité pour les pays en voie de développement (Goodwin, 2005). En effet, les protéines et les glucides représentent ensemble

plus de 80% de la matière sèche des grains de pois chiche. Les protéines de pois chiche sont riches en acides aminés essentielles pour l'alimentation humaine (Huisman et Van Der Poel, 1994 ; Williams et Singh, 1987).

Au cours des 10 dernières années, la production mondiale en pois chiche était irrégulière (Tableau 06) : avec un maximum de 9,4 millions de tonnes en 1998-1999 et un minimum de 6,96 millions de tonnes en 2000-2001. Durant cette période, l'Inde couvrait 60 à 70% des besoins mondiaux (Skrypetz, 2006). La production mondiale a connu en augmentation durant la période de 2004 à 2009 allant de 8,29 millions de tonnes en 2004 jusqu'au 10,46 millions de tonnes en 2009 sur une superficie de plus de 11 millions d'hectares (Faostat, 2011).

**Tableau 06 :** Evolution de la superficie, de la production et du rendement de la culture de pois chiche dans le monde (Faostat, 2011)

Années	Production (tonne)	Superficies (Hectare)	Rendement qx/ha
1999	9430945	12166801	7,7
2000	8009162	10147541	7,8
2001	6965420	9494211	7,3
2002	8292709	10402684	7,9
2003	7110980	9644184	7,3
2004	8383002	10471109	8,0
2005	8426389	10182411	8,2
2006	8458046	10512706	8,0
2007	9747283	11268029	8,6
2008	8604188	11079984	7,7
2009	10461215	11551857	9,0

### 3 – Situation de la culture du pois chiche en Algérie

En Algérie, le pois chiche représente la deuxième culture de légumineuses alimentaires après la fève avec une production de 17842 tonnes sur une superficie de 22274 hectares en 2009 (Tableau 07). (Faostat, 2011). Les causes de la faiblesse de la productivité du pois chiche en Algérie sont souvent d'ordre agro techniques liées aux conditions de semis et à l'infestation par les adventices (Hamadache et Ait Abdallah, 1998).

**Tableau 07 :** Représentation de la superficie et de la production de la culture de pois chiche par rapport aux autres légumineuses alimentaires en Algérie en 2009.

Cultures	Superficies (Ha)	Productions (Tonne)	Rendement (qx / ha)
<b>Fève /Féverole</b>	32278	36495	5.13
<b>Pois chiche</b>	22274	17842	5.30
<b>Pois – sec</b>	8487	5969	3.45
<b>Lentilles</b>	2588	2693	3.95
<b>Haricot sec</b>	1616	1159	5.22

Source : (F.A.O : Organisation de l'agriculture et de l'alimentation, 2011).

Les principales zones de cultures actuelles (Tableau 8) et les principales variétés cultivées en Algérie (Tableau 9), sont distribuées comme suit :

**Tableau 08 :** Principales zones de culture du pois chiche en Algérie (Anonyme, 1988).

Zones	Pluviométrie Moyenne P (mm.an <sup>-1</sup> )	Localisation
<b>Plaines littorales et sub-littorales</b>	P > 600	Alger – Guelma – Annaba
<b>Plaines d'altitude : 700 à 900 m</b>	500 < P < 600	Tiaret – Médéa
<b>Hautes plaines Telliennes</b>	400 < P < 600	Sétif, Constantine, Tissemsilt, S. Bellabes
<b>Plaines basses Telliennes</b>	400 < P < 500	Ain Témouchent, chlef, Relizane

**Tableau 9 :** Principales variétés cultivées en Algérie jusqu'à l'année 1988 (Anonyme, 1988).

Variétés	Origine	Aptitudes	Aire de la culture
<b>Aïn témouchent</b>	Obtenu à Ain Témouchent en 1948.	-Port étalé -Semi précoce -Bonne Vigueur	Cultivée dans toutes les zones
<b>Rabat 9</b>	Introduite du Maroc et sélectionnée en Algérie	-Port étalé - Semi tardive -Bonne Vigueur	Toutes les zones
<b>Sebdou</b>	Locale	-Port étalé -Semi précoce -Vigueur moyenne	Tlemcen, Sidi Belabes
<b>Abdellys</b>	Locale	-Port érigé -Semi précoce	Toutes les zones, notamment Tlemcen
<b>I L C 482</b>	Turque, introduite de Syrie	-Port érigé -Précoce -Bonne Vigueur -Assez bonne valeur culinaire	Sétif, Tiaret et Sidi Belabes

<b>I L C 3279</b>	Russe, introduite de Syrie	-Port très érigé -Tardive -Très bonne vigueur -Valeur culinaire assez bonne	Toutes les zones
<b>Nec 105</b>	Introduite de Syrie	-Port semi – étalé -Assez précoce -Vigueur moyenne -Valeur culinaire bonne	Sidi Bellabes et Sétif

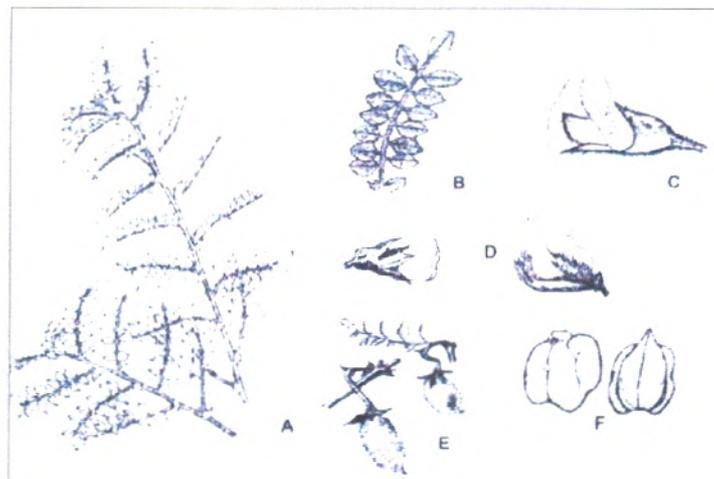
#### 4 - Classification et caractères botaniques

Sur le plan taxonomique, la culture du pois chiche est classée comme suit (Messaili, 1995):

Embranchement :	Spermaphytes
Sous – Embranchement :	Angiospermes
Classe :	Dicotylédones
Sous - Classe :	Dialypétales
Ordre :	Rosales
Famille :	Légumineuses
Sous – famille :	Papilionacées
Genre :	<i>Cicer</i>
Espèce :	<i>Cicer arietinum</i> L.

Sur le plan botanique, le pois chiche est une espèce diploïde ( $2n = 16$ ), annuelle et autofécondée qui produit des graines de grandes dimensions et globuleuses (Fig. 5). C'est une plante herbacée annuelle, dressée ou rampante, couverte de poils glanduleux. Sa germination est de type hypogé (les cotylédons restent souterrains). Ses racines peuvent atteindre un mètre de profondeur, mais la plupart du temps se trouvent dans les premiers centimètres (Duke, 1981, *In* : Melakhessou, 2007).

Sa tige anguleuse à une hauteur de 0,20 à 1 mètre de hauteur, ses feuilles se composent de 7 à 17 folioles ovales et dentées. Les fleurs peuvent être blanches, bleues ou violettes, solitaires et pédonculées. Les gousses sont renflées avec 1 à 2 graines presque rondes (Fig. 5).



**Fig. 5-** Le pois chiche, *Cicer arietinum* L. : tige feuillue (A), feuille composée de 16 folioles (B), fleur zygomorphe (C), étamines, pistil et ovaire (D), gousses en développement (E), graines (F). (Anonyme, 1991).

### 5 - Caractéristiques agronomiques du pois chiche

Le pois chiche se développe bien dans des conditions d'humidité tolérables par rapport à sa tolérance à la sécheresse et à des températures variant entre 21 et 29°C le jour et proches de 20°C la nuit. La durée de la maturation dépend de la chaleur et de l'humidité disponible, mais varie entre 95 et 105 jours pour le pois chiche « Desi » et entre 100 et 110 jours pour le pois chiche « Kabuli ». Le pois chiche résiste relativement bien à la sécheresse en raison de ses longues racines pivotantes. Il n'est pas bien adapté aux zones de grande humidité, aux sols salins lents à se réchauffer au printemps ainsi qu'aux sols engorgés d'eau. Le semis du pois chiche n'est pas préférable en terres basses, à proximité de marécages ou dans des sols à forte teneur en matières organiques, afin de prévenir une maturation inégale ou prolongée (Skrypetz, 2001).

### 6 - Types de cultivars

L'espèce *Cicer arietinum* manifeste une grande variabilité sur les plans phénotypique et génotypique. Deux types de pois chiche se distinguent par leurs caractéristiques : le « Kabuli » et le « Desi ». Le premier, originaire de Kabul (Afghanistan), est largement répandu dans le monde (Singh et al., 1983), il est le seul type cultivé dans le bassin méditerranéen (Jimenez-Diaz et Trapero-Casas, 1988). Les graines de ce type sont de couleur crème à calibre variable : petit, moyen et grand (Singh et al., 1987). Le deuxième type « Desi », est utilisé surtout en Inde et se distingue par une couleur de ses semences jaune, noire ou rouge, il est le

plus cultivé dans le monde (Malhotra et *al.*, 1987)

## 7 - Biologie de la plante

### 7.1 - Saisons de culture du pois chiche

Dans le bassin méditerranéen, le pois chiche est considéré comme une culture de printemps. En général, la plante se développe vigoureusement et complète son cycle évolutif en 4 mois (Bryssine, 1955, *In* Elaoufir, 2001).

Le pois chiche est habituellement cultivé au printemps en raison de sa sensibilité à *Ascochyta rabiei*, agent inducteur de l'antracnose et au froid (Singh, 1988).

La culture d'hiver a d'autres avantages : une meilleure utilisation de l'eau de pluie, une mécanisation de la récolte facilitée par le port érigé des plantes et une précocité de la récolte. Néanmoins, elle présente des limites par rapport à la culture de printemps. En effet, en plus des risques du gel et de l'action du froid, l'humidité relativement élevée en hiver favorise le développement de l'antracnose (Kamal, 1988). Il est donc essentiel que sur le plan génétique le pois chiche d'hiver soit résistant à l'antracnose (Elaoufir, 2001).

### 7.2 - Description du cycle végétatif

La germination du pois chiche est hypogée (les cotylédons restent souterrains), elle demande environ une semaine de plus que le pois surtout pour les variétés à grosses graines ou à tégument épais (Braune, 1988).

Le développement commence avec l'élongation d'une tige principale, les premières feuilles apparaissent au 3<sup>ème</sup> nœud et n'ont que l'équivalent d'écailles à la base des quelque bourgeons axillaires qui se développeront aussi haut que la tige principale et les ramifications primaires. Il peut apparaître une 3<sup>ème</sup> ou 4<sup>ème</sup> ramification primaire basale à l'aisselle de la 1<sup>ère</sup> ou 2<sup>ème</sup> feuille normale (Ploux, 1985).

Si la jeune plantule est sectionnée à la levée, elle n'a plus la morphologie typique (pas de tige principale et les ramifications primaires épargnées poussent seules). Quand la jeune tige est sectionnée sous les feuilles écailleuses, la graine émet deux tiges à partir de bourgeons cotylédonaires.

La floraison est indéfini, elle commence aux nœuds inférieur de bas en haut (Sinha, 1980), chaque nœud ne porte qu'une fleur située sur un pédoncule. Les premiers boutons floraux avortent prématurément en cas de temps froid ou couvert (Braune, 1988).

Pour terminer ce chapitre, il est important de rappeler l'importance économique majeure du pois chiche qui est cultivé dans plusieurs zones d'Algérie. La capacité

de cette culture à établir une symbiose avec les bactéries de la famille des Rhizobium lui permet de produire de grandes quantités d'ammonium. Cependant, le pois chiche est sensible à la sécheresse et particulièrement à la salinité ce qui entrave l'expansion de sa culture dans les régions sec, en particulier les zones arides et semis arides.

L'amélioration de la production du pois chiche en Algérie doit prendre en compte la sélection de variétés non seulement adaptées aux contraintes climatiques et pédologiques qui caractérisent les régions arides et semi arides mais aussi résistantes au phénomène de salinité qui ne cesse de prendre de l'ampleur dans ces régions. Ceci doit être abordé dans une approche intégrée qui prend en compte une gestion conservatoire des ressources en sols et en eaux.

ÉTUDE  
EXPÉRIMENTALE

## CHAPITRE IV

# EFFETS DE LA SALINITÉ SUR LES PROPRIÉTÉS ÉCO-PHYSIOLOGIQUES ET BIOCHIMIQUES DU POIS CHICHE (*CICER ARIETINUM L.*)

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats et les discussions de l'approche expérimentale que nous avons réalisée au laboratoire d'écophysiologie végétale de l'Université Essenia d'Oran.

Nous rappelons que l'objectif de ce travail expérimental est l'étude des effets de la salinité sur les caractéristiques écophysiologiques et biochimiques d'une culture de pois chiche cultivée sur deux substrats : sable et sable bonifié par ajout de bentonite de Mostaganem.

## **I. Matériel et méthodes**

### **1.1 - Matériels**

#### **1.1.1- Substrats**

Le substrat de notre essai se compose d'un mélange de sable et de bentonite. La bentonite provient du gisement de Mostaganem située au nord-ouest d'Algérie. L'argile a été broyée et tamisée pour obtenir une poudre fine en vue de faciliter le mélange avec le sable. Les caractéristiques physico-chimiques de la bentonite sont portées au Tableau 3 (voir chap. II, § 7). Cette dernière était utilisée à l'état brut.

Le sable utilisé est de taille fine, il a été prélevé en bordure de mer dans la région de Sidi Mansour (Mostaganem). Le sable a été soumis à un lavage à l'eau de robinet puis abondamment à rincé l'eau distillée en vue d'éliminer les chlorures et les carbonates ensuite séché à la température ambiante dans la serre.

Le substrat se compose de deux volumes de sable et un volume de tourbe auquel nous avons ajouté 7% de bentonite en poids sec.

#### **1.1.2- Chambre de culture**

Les cultures en pépinière et en pots sont effectuées dans une serre de culture (Photo 1) climatisée à  $27 \pm 1^\circ\text{C}$  sous une photopériode de 16 heures et une humidité relative de 75 %. Cette serre est située à l'Université d'Essenia d'Oran et est rattachée au laboratoire d'écophysiologie végétale.



**Photo 1** – Vue sur la serre expérimentale utilisée

### 1.1.3- Matériel végétal

Le pois chiche (*Cicer arietinum*) est une plante légumineuse largement cultivée en Algérie. Durant notre travail nous avons utilisé une variété ILC3279 (Photo 2) de pois chiche remise par l'Institut Techniques des Grandes Cultures de Sidi Bellabbès, dont les principales caractéristiques sont résumées dans le Tableau 9.



**Photo 2** – Vue sur quelques graines de la variété utilisée : ILC3279

**Tableau 10** - Caractéristiques générales de la variété de pois chiche utilisée (ITGC, 2004).

Génotype	Origine	Cycle végétatif	Grosseur de la graine	Poids de 100 grains (gr)	Comportement en sec	Tolérance aux maladies
ILC3279	Ex URSS	Tardive	Petite	26	Tolérante	Résistante

## 1.2 - Méthodes

### 1.2.1 - Préparation des pots et repiquages

Les graines préalablement germées sont transplantées dans des pots en plastiques de 20 cm de hauteur et 10 cm de diamètre remplis avec 700g de substrat, irrigués à raison de 140 ml pour maintenir les pots à leur capacité au champ. Les plantules sont arrosées tous les deux jours, deux fois à l'eau déminéralisée et une fois à la solution nutritive de Hoagland et Arnon (1938). La composition chimique de la solution nutritive est donnée en Annexes .... Après neuf semaines passées au-delà de la date de semis, les plantules étaient soumises pendant une semaine au stress salin à l'aide des différents traitements au NaCl. Cette opération était suivie par les prélèvements d'échantillons de la plante destinés aux différentes mesures et analyses des paramètres étudiés.

Le dispositif expérimental adopté est composé de deux blocs et dix répétitions selon la méthode des blocs complets aléatoires (Tableau 11).

**Tableau 11**- Composantes d'un bloc du dispositif expérimental adopté.

Substrat sable		Substrat sable-Bentonite	
Concentration en Na Cl (meq.l <sup>-1</sup> )	Nombre des pots	Concentration en Na Cl (meq.l <sup>-1</sup> )	Nombre des pots
0	10 pots	0	10 pots
50	10 pots	50	10 pots
100	10 pots	100	10 pots
200	10 pots	200	10 pots

### 1.2.2 - Protocole de germination des graines du pois chiche

Dans le but de déterminer les effets de NaCl sur la germination des graines du pois chiche, un essai de germination a été effectué sous différentes concentrations de chlorure de sodium.

Les graines sont désinfectées et stérilisées dans une solution à 5 % d'hypochlorite de sodium pendant 5 minutes et ensuite rincées trois fois à l'eau distillée stérile dans le but de supprimer toutes traces de sodium.

Les graines sont séchées sur papier filtre stérile avant d'être déposées dans des boîtes de Pétri de 10 cm de diamètre contenant deux couches de papier filtre stérile. Dans chaque boîte de Pétri nous avons versés 10ml d'eau distillée stérile pour les graines témoins et le même volume pour les différentes concentrations salines : 50 meq, 100 meq et 200 meq de NaCl soit : 2.92g.l<sup>-1</sup>, 5.84 g.l<sup>-1</sup> et 11.7 g.l<sup>-1</sup>.

Les boîtes de Pétri, contenant chacune 10 graines de pois chiche, sont déposées dans une étuve assurant une stabilité thermique de 27±1°C et une humidité relative d'environ 80%. Dix répétitions sont prévues pour chaque traitement.

### 1.2.2.1 - Observations

Les boîtes de Pétri sont observées quotidiennement pour suivre la germination des graines. Le nombre de graines ayant germé est noté et le pourcentage de germination est ainsi calculé. Dans cet essai, nous avons considéré qu'une graine a germé lorsque la radicule a percé l'enveloppe et est devenue visible à l'œil nu selon la définition de Come (1970).

#### a - Moyenne journalière de germination

La moyenne journalière de germination (MDG= Mean Daily Germination) est égale selon Osborne et Nercer (1993) à :

MDG= Pourcentage de germination final/nombre de jours à la germination finale.

#### b - Cinétique de germination

Le nombre de graines germées est noté à 12, 24, 36, 48, 72 et 96 heures après le début de l'expérience. Dans ce cas, la précocité de la germination est exprimée par le pourcentage des premières graines germées correspondant à l'intervalle de temps entre le semis des graines et les premières graines germées (Belkhodja, 1996).

#### c - Vitesse de germination

La vitesse de germination est estimée par le temps moyen (t<sub>50</sub>) qui correspond à la germination de 50% du lot de graines.

#### d - Taux final de germination

Ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration saline qui présente la limite physiologique de germination des graines de pois

chiche. Il est exprimé par le rapport entre nombre de graines germées (Ni) et le nombre total de graines (Nt).

$$Tg = Ni \times 100 / Nt$$

(Tg : Taux de germination en %)

### 1.2.2.2 - Paramètres morphologiques

Cette étude a été menée pour évaluer l'influence de la salinité sur la croissance végétative de la plante.

#### a - Longueurs aérienne et souterraine

Après dix semaines et vers la fin du traitement on enlève la plante du pot et on sépare la partie aérienne de la partie racinaire, on procède à la mesure de la longueur de chaque partie avec une règle graduée et on pèse les deux parties séparément avec une balance de précision.

#### b - Poids de la biomasse végétale

Pour chaque échantillon plant, nous avons déterminé le poids frais juste après le prélèvement et après passage à l'étuve à 80°C.

### 1.2.2.3 - Paramètres physiologiques et biochimiques

#### a - Teneur en eau des plants

La teneur en eau de toute la plante est la différence entre le poids frais et le poids sec. Cette différence est exprimée en pourcentage par rapport à la matière fraîche selon la formule suivante :

$$TE = (PF - PS) \times 100 / PF$$

TE : teneur en eau des plants (en %)

PF : poids frais juste après récolte (en g)

PS: poids sec après séchage à l'étuve (en g)

#### b - Extraction de la chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle est réalisée dans le mélange de l'acétone et de l'éthanol (75 % et 25%) de volume et de 80% et 20% de concentration. En effet, 100 mg de matière végétale coupée en petits morceaux (les feuilles sont mises dans des boîtes noires pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière) est ajouté 10 ml d'un mélange d'acétone et d'éthanol de volumes respectifs 75 et 25 % moyennant deux concentrations de 80 et 20%. Après 10 min de centrifugation à 5000 tours.mn-1 à 4°C, on procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre, à deux longueurs d'ondes : (645 et 663 nm). Les concentrations en chlorophylles totales (Chlorophylles a et b), exprimées en mg. g-1 de matière fraîche MF sont données selon les formules :

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

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

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

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

### c - Sucres solubles totaux

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leur dérivés méthylés et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol de Dubois et *al* (1956).

-100 mg de matière végétale, soit des racines, des tiges et des feuilles fraîchement coupées sont placés dans des tubes à essai, on ajoute 3 ml d'éthanol à 80 % pour l'extraction des sucres .On laisse à température ambiante pendant 48 h.

-Faire évaporer l'alcool en mettant les tubes dans un bain marie à 70°C.

-Après refroidissement, on ajout 20ml d'eau distillée dans chaque tube à essai.

-Prendre 1ml de la solution et ajouter 1ml de phénol à 5% et bien agiter.

-Ajouter 5ml d'acide sulfurique concentré, puis les passer au vortex puis les laisser au repos pendant 10min puis les passer au bain marie pendant 15 minutes à 30°C.

-Après refroidissement de 30 minutes, l'absorbance, lue à 490nm, au spectrophotomètre est référée à un courbe étalon effectué à partir de quantités croissantes d'une solution de glucose allant de 10 à 100  $\mu\text{g.ml}^{-1}$ .

### d - Teneur en protéines totales

#### - Extraction

Environ 1 g de matière fraîche est mélangé à 10 ml de tampon d'extraction (tampon phosphate 0.06M pH 7) l'extraction se fait à froid (mortier dans un glace pilée). Puis centrifugé à 5000 g pendant 15 min, à 4°C.

#### -Dosage des protéines

Prendre 1 ml d'échantillon à doser et ajouter 2 ml de réactif de Bradford, après 2 min du développement de la réaction, la densité optique est lu à 595 nm. Un courbe étalon est réalisé à partir d'une solution mère de sérum albumine préparée dans l'eau distillée pour des valeurs comprises entre 10 à 100  $\mu\text{g.ml}^{-1}$ . Les résultats sont exprimés en  $\mu\text{g protéine. ml}^{-1}$ .

### e - Détermination des solutés minéraux

Nous avons choisi la méthode de (LAFON et *al*, 1996) pour l'extraction et le dosage des sels minéraux. Elle consiste à mesurer la composition élémentaire d'une

plante par calcination et la destruction complète de la matière organique (Martin-PREVEL *et al.*, 1984), le résidu est ensuite analysé

### Mode opératoire

- Peser 100mg d'échantillon végétale (broyée et séchée à 80°C dans une étuve) dans un creuset et mise dans un four à moufle à 450° (au moins pendant 2 heures).
- Humecter les cendres obtenues par 1 ml de HNO<sub>3</sub> après refroidissement des capsules. Et placer sur une plaque chauffante pour évaporer l'acide puis mise dans le four pendant 1 heure. Ajouter 1 ml de HCl 6N au contenu du creuset, puis on le peser.
- Filtrer le contenu sur papier filtre (Wattman) dans une fiole jaugée de 50 ml. Rincer la capsule et le filtre à l'eau tiède, filtrer et ajuster à 50 ml dans une fiole jaugée avec l'eau bi distillé après refroidissement.
- Détermination le contenu de mélange par spectrophotomètre pour chaque élément : Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup>.

### Etalonnage de l'appareil

Pour préparer des solutions standard de sodium et potassium à base de chlorure de sodium et chlorure de potassium (Na Cl et KCl), il faut mettre 1g de chaque produit desséchée dans une fiole jaugée d'un litre puis ajouter 8 ml d'HCl et compléter le volume avec l'eau déminéraliser jusqu'au le trait de triage. Dosage du sodium : solutions de 0 - 2,5 - 5 - 7,5 et 10 mg.l<sup>-1</sup> de sodium. Dosage du potassium : solutions de 0 - 2,5 - 5 - 7,5 et 10 mg.l<sup>-1</sup> de potassium.

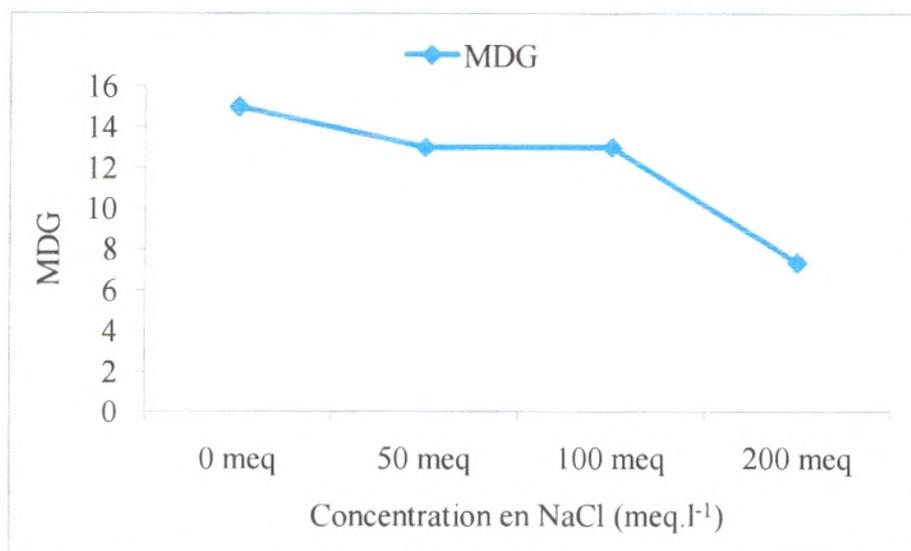
L'intensité de la radiation est reçue par une cellule photoélectrique après avoir traversé un filtre covalent (Na<sup>+</sup> : 589nm, K<sup>+</sup> : 680nm, Ca<sup>2+</sup> : 620nm), un galvanomètre à spot lumineux mesure l'intensité du courant transmis par la cellule.

## II. Résultats

### 2.1 - Effets de la salinité sur le pouvoir germinatif des graines

#### 2.1.1 - Moyenne journalière de germination

L'analyse des résultats de la moyenne journalière de germination (Fig. 3), montre que la présence de chlorure de sodium affecte ce paramètre de manière appréciable. En effet, mise à part les graines témoins soumises à l'eau déminéralisée (MDG = 15), toutes les autres graines sont affectées par la concentration croissante en NaCl par une diminution de leurs MDG.



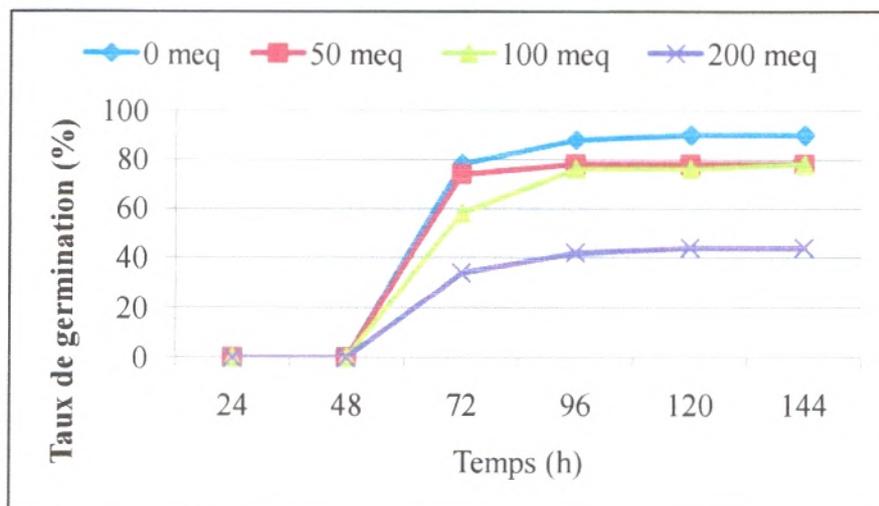
**Fig. 6 -** Variation de la moyenne du taux de germination journalière (MDG) en fonction de la concentration en chlorure de sodium (0 à 200 meq.l<sup>-1</sup>).

#### 2.1.2 - Cinétique de germination

La cinétique de la germination des graines sous l'effet des concentrations croissantes de NaCl (Fig. 6) décrit une forme sigmoïdale comprenant trois phases; une première phase de latence, due à l'imbibition des graines, une deuxième phase exponentielle où l'on assiste à une accélération de la germination et enfin une troisième phase caractérisée par un arrêt de germination, traduisant la capacité germinative dans les conditions de l'expérience. Dans ce cas, l'évolution du taux de germination au cours de temps est influencée par l'accroissement de la concentration en NaCl.

Les graines du pois chiche examinées durant 48 heures de germination ne manifestent aucun signe d'influence par les traitements à la salinité. Ce n'est qu'après 4 jours, que le taux de germination atteint 90 % chez les graines soumise à

l'eau déminéralisée contre 80% chez les graines soumises à 50 et 100 meq.l<sup>-1</sup> de NaCl, et 40% chez celles soumises à 200 meq.l<sup>-1</sup> de NaCl. Les 4 courbes d'évolution du taux de germination marquent un palier au bout du 6<sup>ème</sup> jour de germination. La cinétique de germination est fortement influencée par la salinité.



**Fig. 7**– Cinétique de germination (%) des graines de pois chiche stressées au NaCl (meq.l<sup>-1</sup>).

### 2.1.3 - Vitesse de germination

La vitesse de germination peut s'exprimer par la durée médiane de germination (Scott et *al.*, 1984) ou par le temps moyen de germination (le temps au bout duquel on atteint 50% des graines germées) (Côme, 1970).

La vitesse de germination exprimée par le t<sub>50</sub> (Fig. 8), montre que les effets de la salinité se traduisent par une augmentation du t<sub>50</sub>, ou une diminution du pourcentage de germination. En absence de sel, la vitesse de germination est minimale et elle ne dépasse pas les 2 jours. En présence de sel, la vitesse de germination diminue suite à l'augmentation de la salinité. Pour les traitements de 50 et 200 meq.l<sup>-1</sup> de NaCl, il faut attendre respectivement 50 et 80 heures pour obtenir la germination de 50% de l'effectif des graines. Pour la concentration de 200 meq.l<sup>-1</sup> de NaCl, la vitesse de germination diminue de 77 % par rapport au témoin.

La croissance de la concentration en NaCl a le même effet de diminution sur la capacité germinative que la vitesse de germination. En effet, la capacité germinative diminue de 58 et 44 % respectivement pour les traitements de 100 et 200 meq.l<sup>-1</sup> de NaCl par rapport au témoin.

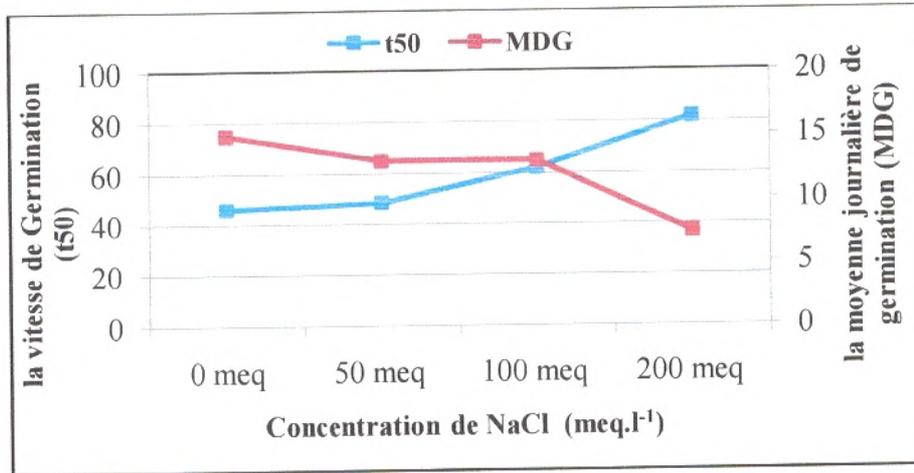


Fig. 8 - Variations de la vitesse de germination en fonction de salinité (meq.l<sup>-1</sup> de NaCl)

### 2.1.4 - Taux final de germination

Les résultats du taux final de germination (Fig. 9), montrent qu'après une durée de 6 jours dans l'étuve, le pourcentage de germination est passé de 90 à 78 % respectivement pour les graines témoins et celles traitées avec les deux concentrations de 50 et 100 meq.l<sup>-1</sup> de NaCl. A 200 meq.l<sup>-1</sup> de NaCl, le pourcentage d'inhibition de la germination est de 44 % par rapport au témoin.

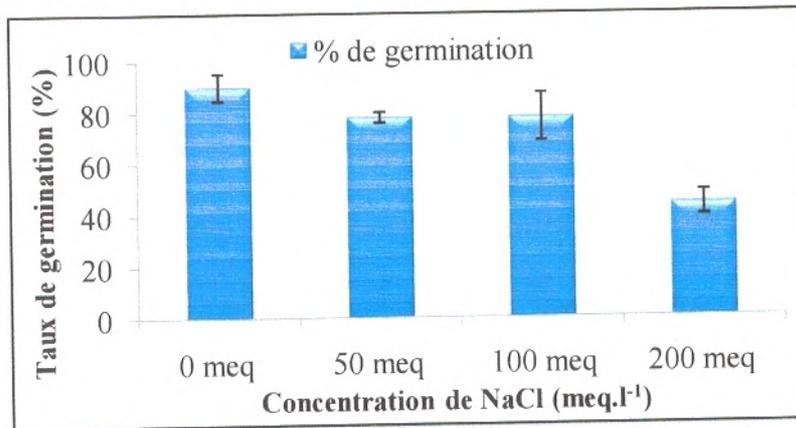


Fig.9 – Taux final de germination des graines de pois chiche en fonction de la salinité

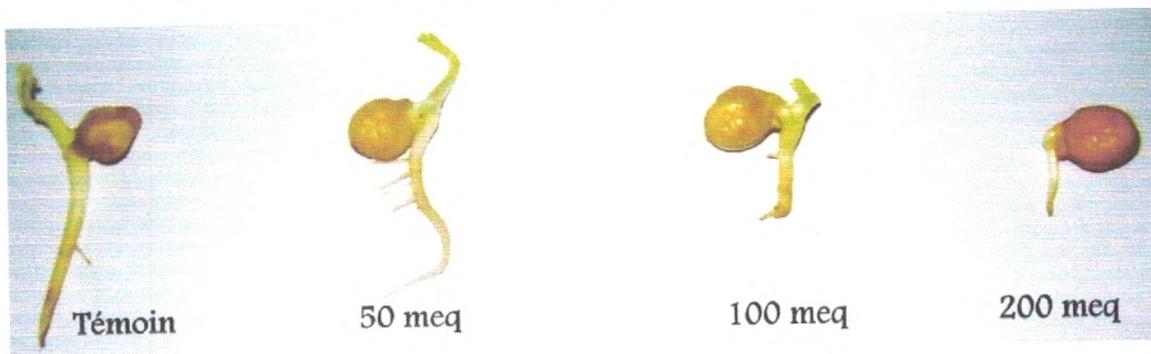


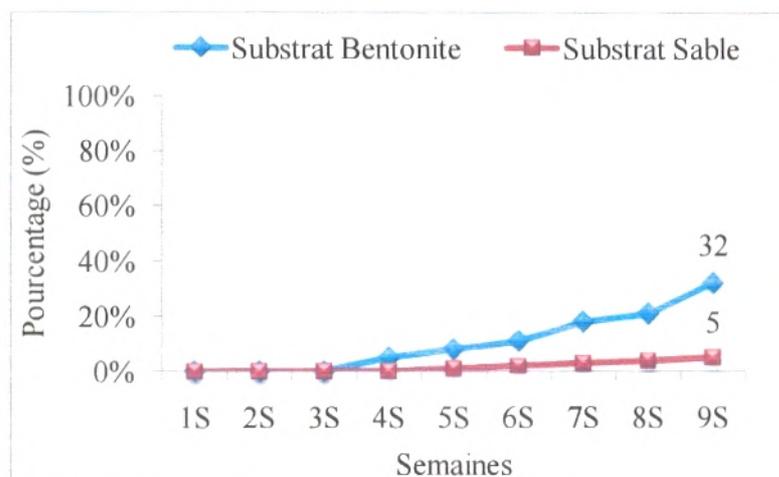
Photo 3 – Germination des graines de pois chiche en fonction des concentrations salines.

## 2.2- Effet du substrat sur l'apparition des symptômes foliaires

### 2.2.1 - Sans traitement à la salinité

Dans un premier temps, en attendant de soumettre la culture au stress salin prévu pour la 9<sup>ème</sup> semaine après la date de semis, nous avons observé des symptômes foliaires sur les plants étudiés. Ces symptômes paraissaient différents selon que la culture est installée dans le substrat de sable ou de sable bonifié. Après 4 semaines, il y avait déjà des chutes de feuilles sous l'effet des symptômes relevés. L'apparition des symptômes et la chute des feuilles étaient particulièrement importants dans le substrat bonifié.

Exprimés en terme de pourcentages d'apparition (Fig. 10), les symptômes foliaires comptaient 32 % chez les plants cultivés sur le substrat bonifié contre seulement 5 % de ces mêmes symptômes chez les autres plants du substrat sableux. Ce résultat pose une grande question sur l'effet de la bentonite sur le pourcentage d'apparition des symptômes foliaires que nous allons tenter de discuter plus loin par rapport aux résultats des autres paramètres étudiés.



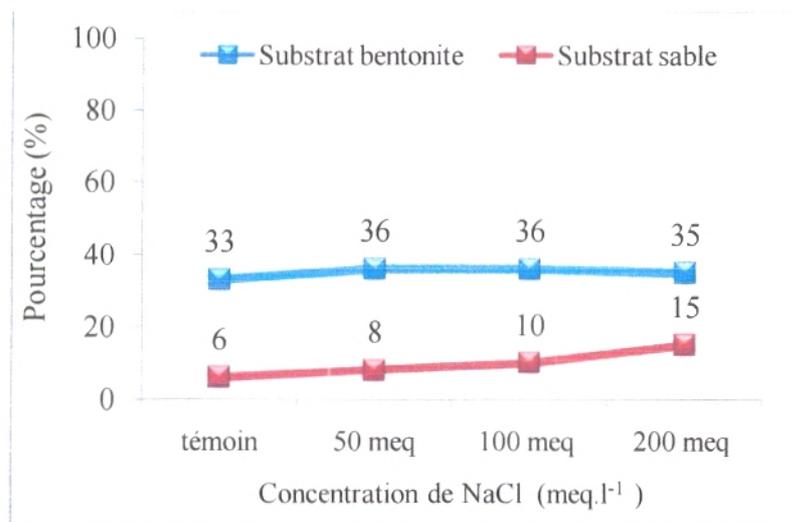
**Fig. 10-** Pourcentage d'apparition des symptômes foliaires des plants en fonction du substrat de culture : Sable et sable Bonifié

### 2.2.2 - Avec traitement à la salinité

Au bout de la 9<sup>ème</sup> semaine de croissance, nous avons appliqué le stress salin sur les plants de la culture avec les trois concentrations de NaCl (50, 100 et 200 meq.l<sup>-1</sup>) en plus du témoin.

Le stress salin semble augmenter le pourcentage d'apparition des symptômes foliaires dans les deux substrats (Fig.11). Cet effet est beaucoup plus important dans

le substrat sableux que dans le sable bonifié. En effet, il passe de 6 à 150 % respectivement pour les substrats bonifié et sableux dans le cas du traitement à 200 meq.l<sup>-1</sup> par rapport au témoin.



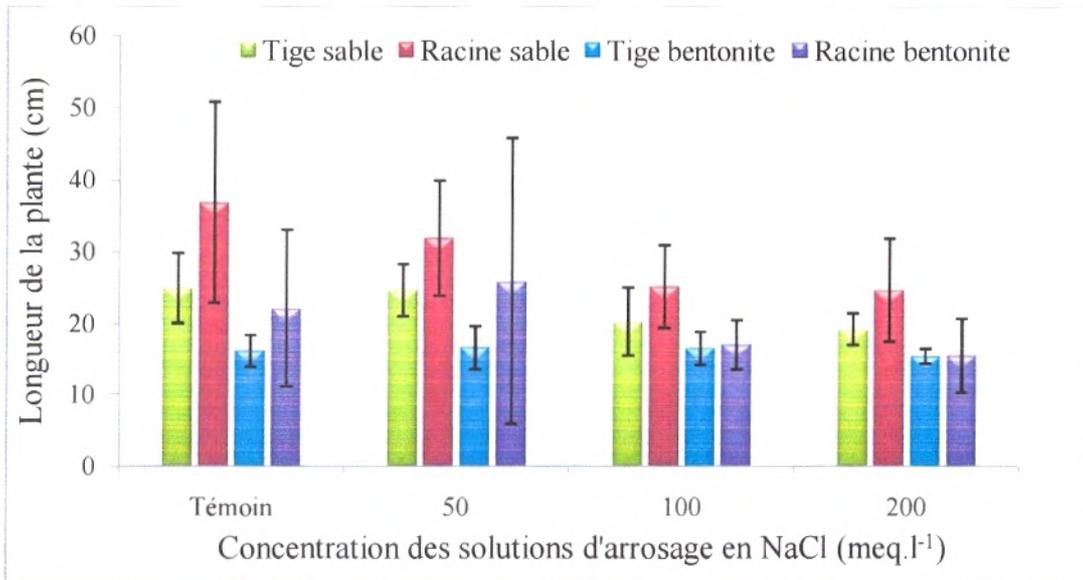
**Fig. 11-** Pourcentage d'apparition des symptômes foliaires des plants en fonction de la salinité pour les deux substrats : Sable et sable Bonifié

### 2.2.2.1-Mesure de la partie aérienne et souterraine

L'effet de la salinité entraîne une réduction sur la taille des plants (tige et racines) d'autant plus importante que la concentration en NaCl est grande (Fig. 13).

Une comparaison entre les deux substrats, montre que l'effet de la salinité est beaucoup plus exprimé par les plants du substrat amendé que ceux du substrat sableux.

L'analyse de la variance (Tableaux 11 et 12), de la croissance en hauteur de la culture (tige et racines) montre un effet significatif de la salinité et du substrat sur les variations globales de ce paramètre.



**Fig. 12-** Pourcentage d'apparition des symptômes foliaires des plants en fonction du substrat de culture : Sable et sable Bonifié

Par rapport au témoin, le développement de la longueur de la culture (tige et racines) pour le substrat sableux enregistre une réduction de 29 % pour le traitement à 200 meq.l<sup>-1</sup> de NaCl. Par contre dans le substrat bonifié, cette réduction est de 19,5 %. A contrario, la dose de 50 meq.l<sup>-1</sup> entraîne une augmentation de la hauteur de la plante entière dans le substrat amendé. Ce qui semblerait comme une action favorable de la dose saline de 50 meq.l<sup>-1</sup> sur la croissance de la plante.

**Tableau. 12-** Effet de la salinité sur la longueur de différents organes de la plante de pois chiche.

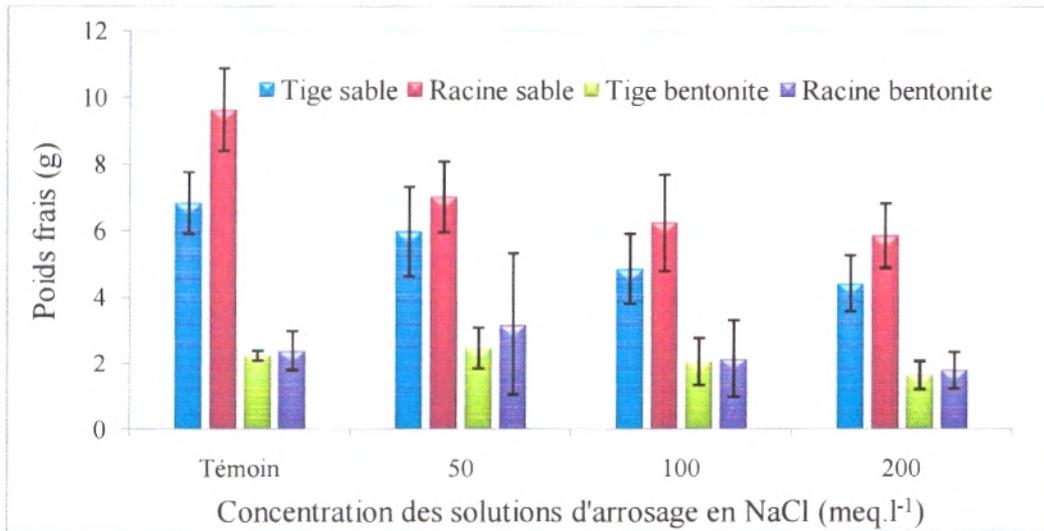
	Tige		Racine		Dose de NaCl
	Sable	Bentonite	Sable	Bentonite	
M+σ	24,92±4,48 a	16,14±2,28 b	39,64±13,91 a	22,07±10,97 b	T
	24,65±3,62 a	16,57±3,08 b	32±8,057 <sup>NS</sup>	25,85±19,91 <sup>NS</sup>	50
	20,28±4,78 <sup>NS</sup>	16,5±2,363 <sup>NS</sup>	25,21±5,75 <sup>NS</sup>	17±3,51 b	100
	22,21±2,21 a	15,35±1,06 b	23,85±7,16 a	15,42±5,2 b	200
C.V	17,4%		42,9%		

**Tableau. 13-** Analyse de la variance de la longueur de différents organes de pois chiche stressée au NaCl.

	Effet salinité (1)		Effet substrat (2)		(1)*(2)	
	Tige	Racine	Tige	Racine	Tige	Racine
F	46,007	12,24	3,536	3,689	2,339	0,297
P	0***	0,001***	0,021*	0,0179*	0,083NS	0,8289NS

**2.2.2.2 - Poids frais de la biomasse végétale**

L'effet des concentrations croissantes de NaCl sur le poids frais de la biomasse végétale (Fig. 13), se traduit par une diminution de ce paramètre aussi bien pour les tiges que pour les racines dans le substrat sableux. Dans le substrat amendé, tout comme pour le paramètre précédent (hauteur de la plante), les variations de ce paramètre enregistrent une augmentation pour la dose de 50 meq.l<sup>-1</sup> par rapport au témoin. Pour les deux autres doses de 100 et 200 meq.l<sup>-1</sup>, il est observé une diminution du poids frais de la biomasse végétale par rapport au témoin.



**Fig. 13** – Poids frais de la biomasse végétale en fonction de la salinité pour les deux substrats

L'analyse de la variance pour le poids frais de la biomasse végétale (Tableaux 14 et 15), révèle des effets significatifs respectivement de la salinité et de la bentonite sur les variations globales de ce paramètre.

**Tableau. 14-** Effet de la salinité sur le poids frais de plante de pois chiche.

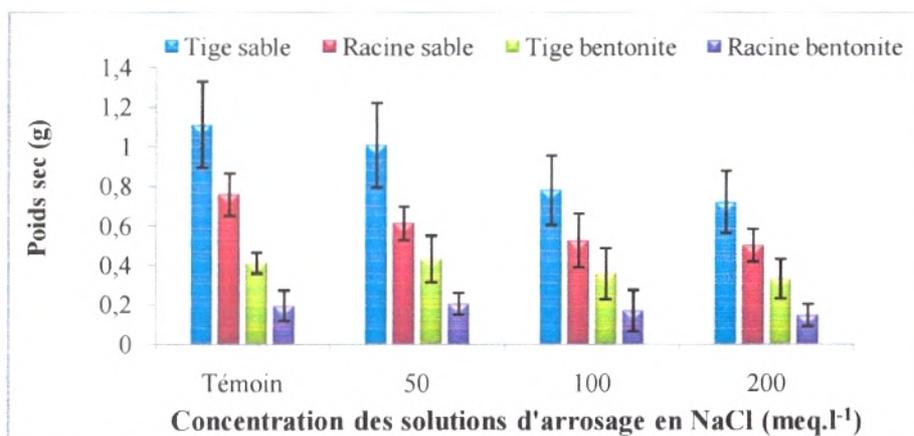
	Tige		Racine		Dose de NaCl
	Sable	Bentonite	Sable	Bentonite	
M+σ	6,846±4,48 a	2,254±2,28 d	9,659±13,91 a	2,41±10,97 c	T
	5,817±3,62 b	2,49±3,08 d	7,024±8,057 b	3,19±19,91 c	50
	4,887±4,78 c	2,066±2,36 d	6,26±5,750 b	2,17±3,512 c	100
	4,30±2,21 c	1,656±1,06 d	5,879±7,16 b	1,80±5,220 c	200
C.V	22,04%		25,90%		

**Tableau .15** - Analyse de la variance du poids frais de plante de pois chiche stressée au NaCl

	Effet salinité (1)		Effet substrat (2)		(1)*(2)	
	Tige	Racine	Tige	Racine	Tige	Racine
F	224,31	209,493	9,83	8,718	3,877	5,984
P	0***	0***	0,0005***	0,00012***	0,0146*	0,0016***

**2.2.2.3 - Poids sec de la biomasse végétale**

Pour le poids sec de la biomasse végétale, les mêmes résultats que le paramètre précédent (poids frais de la biomasse végétale) semblent se dégager (Fig. 14). Il est important, dans ce cas de figure, de rappeler encore une fois la remarque qui concerne la concentration de 50 meq.l<sup>-1</sup> dans le substrat amendé qui entraîne une augmentation du poids sec de la biomasse végétale par rapport au témoin contrairement aux deux autres concentrations de 100 et 200 meq.l<sup>-1</sup> qui entraînent des diminutions de ce paramètre et dans les deux substrats.



**Fig. 14** – Poids sec de la biomasse végétale en fonction de la salinité pour les deux substrats

L’analyse de la variance (tableaux 16 et 17) révèle, aussi bien pour les substrats étudiés que pour les traitements salins, une différence significative.

**Tableau. 16** – Effet de la salinité sur le poids sec de plante de pois chiche

	Tige		Racine		Dose de NaCl
	Sable	Bentonite	Sable	Bentonite	
M+σ	1,116±4,48 a	0,413±0,210 b	0,754±0,108 a	0,197±0,078 c	T
	1,007±3,62 a	0,433±0,210 b	0,613±0,086 b	0,205±0,056 c	50
	0,781±4,78 b	0,359±0,171 b	0,524±0,130 b	0,16±0,105 c	100
	0,720±2,21 b	0,33±0,158 b	0,502±0,083 b	0,147±0,057 c	200
C.V	24,09%		23,81%		

**Tableau 17** – Analyse de variance du poids sec de plante de pois chiche stressée au NaCl

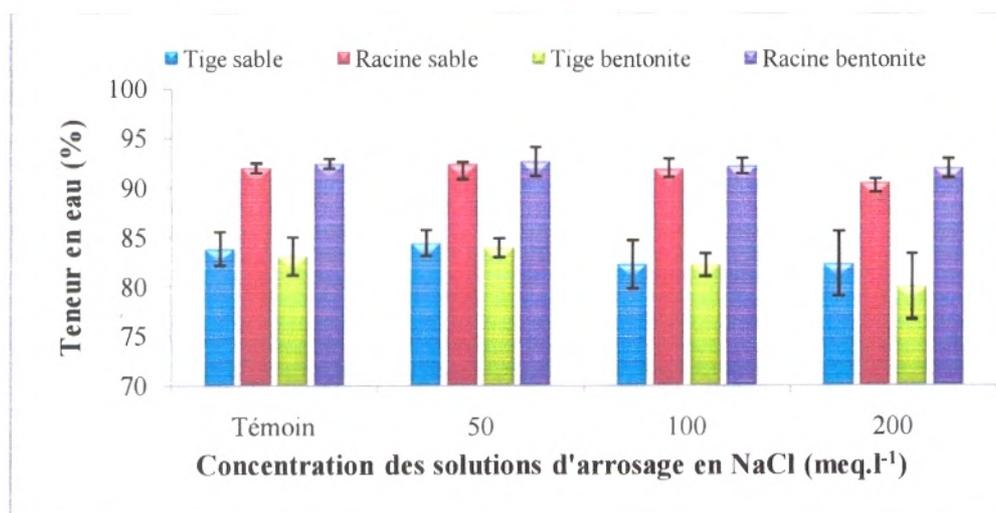
	Effet salinité (1)		Effet substrat (2)		(1)*(2)	
	Tige	Racine	Tige	Racine	Tige	Racine
F	158,43	286,22	7,722	7,528	3,04	3,76
P	0***	0***	0,0003***	0,00036***	0,0373*	0,01659*

Les observations effectuées dans le substrat sableux sur le poids sec de la biomasse végétale, montrent que ce paramètre passe en moyenne de 1,868 g chez les plants témoins à 1,221 g chez les plants stressés à 200 meq.l<sup>-1</sup> de NaCl, ce qui correspond à une diminution de 43,6 %. Cette réduction n'est que de 21,5 % dans le cas du substrat amendé, ce qui suppose que la bentonite manifeste un effet d'atténuation de l'effet de la salinité sur ce paramètre.

### 2.2.3 - Effets de la salinité sur les variations de la teneur relative en eau

Les résultats de la teneur relative en eau de la plante en fonction de la salinité et pour les deux substrats de culture (Fig. 15), enregistrent des variations similaires aux paramètres analysés précédemment.

La remarque qui concerne le *substrat amendé et la dose de salinité de 50 meq.l<sup>-1</sup>* en NaCl - augmentation du paramètre étudié par rapport au témoin sous l'effet de la salinité - ressort là également pour la teneur relative en eau de la plante. Néanmoins, l'analyse de la variance (Tableaux 18 et 19), révèle un effet non significatif du substrat sur les variations globales de ce paramètre

**Fig. 15** – Teneur relative en eau de la plante en fonction de la salinité pour les deux substrats

**Tableau.18** - Effet de la salinité sur contenu relatif en eau chez deux parties de pois chiche.

	Tige		Racine		Dose de NaCl
	Sable	Bentonite	Sable	Bentonite	
M+σ	83,83±4,48a	83,11±0,21	92,04±0,108 a	92,48±0,078 b	T
	84,43±3,62a	83,957±0,21b	92,38±0,086 a	92,65±0,056 b	50
	82,26±4,78a	82,23±0,17b	91,87±0,130 a	92,23±0,105 b	100
	82,31±2,21 a	79,98±0,158 b	90,55±0,083 a	91,99±0,057 b	200
C.V	2,66%		0,91%		

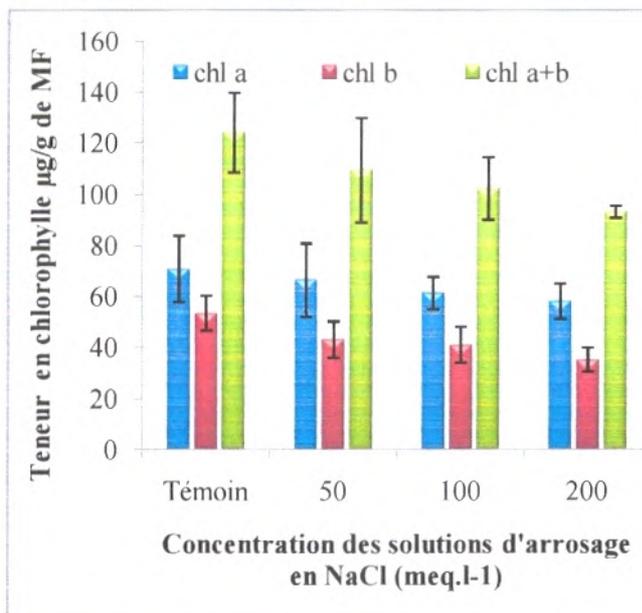
**Tableau .19-** Analyse de la variance de la teneur en eau de plante de pois chiche stressée au NaCl

	Effet salinité (1)		Effet substrat (2)		(1)*(2)	
	Tige	Racine	Tige	Racine	Tige	Racine
F	4,15	11,04	2,7	1,26	1,06	2,26
P	0,045*	0,002**	0,057NS	0,30NS	0,37NS	0,094NS

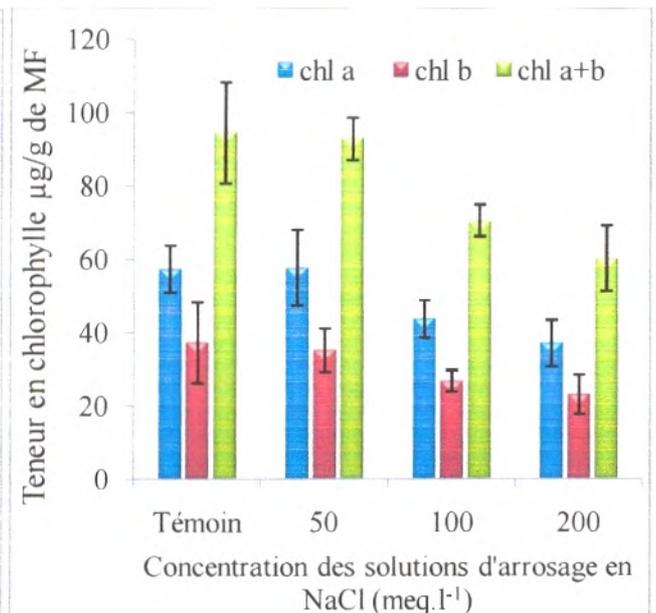
**2.3 - Effets de la salinité et du substrat sur la teneur en chlorophylle**

L'évolution de la teneur en chlorophylle (Figs. 16 et 17), montre que la teneur en chlorophylle (a,b) subit une forte diminution sous l'effet de la concentration croissante en NaCl pour les deux substrat de culture.

La comparaison des moyennes de ce paramètre (Tableau 20) nous permet de remarquer que l'accumulation de la chlorophylle (a et b) est plus affectée par la salinité dans le substrat amendé que dans le sable particulièrement pour les concentrations de 100 et 200 meq.l<sup>-1</sup> en NaCl.



**Fig.16** –Teneur de la chlorophylle dans les feuilles des plantes cultivées en l'absence de bentonite et stressé pendant une semaine à la salinité



**Fig.17** – Teneur de la chlorophylle dans les feuilles des plantes cultivées en présence de bentonite et stressé pendant une semaine à la salinité

Par ailleurs, la teneur en chlorophylle total à fluctuer entre une valeur maximale de  $124,16 \pm 15,6$  et minimale de  $94,53 \pm 13,75$   $\mu\text{g/g}$  de MF respectivement pour les substrats sableux et amendé (Tableau 19).

**Tableau. 20** – Effet de salinité sur la teneur en chlorophylle à des plantes de pois chiche.

	Chl a		Chl b		Chl a+ Chl b		Dose en NaCl
	Sable	Bentonite	Sable	Bentonite	Sable	Bentonite	
M+ $\sigma$	70,7 $\pm$ 13,1 a	57,3 $\pm$ 6,42a	53,4 $\pm$ 6,77 a	37,2 $\pm$ 11,06 a	124,1 $\pm$ 15,6 a	94,5 $\pm$ 13,7 a	T
	66,3 $\pm$ 14,4 a	57,7 $\pm$ 10,39 a	43,1 $\pm$ 7,17 ab	35,1 $\pm$ 5,98 ab	109,4 $\pm$ 20,5 a	92,8 $\pm$ 5,8 a	50
	61,2 $\pm$ 6,4 ab	43,7 $\pm$ 5,05 ab	41,00 $\pm$ 7 b	26,8 $\pm$ 2,93 b	102,2 $\pm$ 12,3 b	70,5 $\pm$ 4,3 b	100
	58,07 $\pm$ 6,9 b	37,1 $\pm$ 6,3 b	35,133 $\pm$ 4,8 b	23,1 $\pm$ 5,37b	93,2 $\pm$ 2,42 b	60,2 $\pm$ 8,9 b	200
C.V	16,37%		18,32%		12,80%		

L'analyse de la variance de la teneur en chlorophylle révèle un effet significatif aussi bien de l'effet salinité que celui substrat (Tableau 21).

**Tableau. 21** - Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle de la plante stressée au NaCl.

	Effet salinité (1)			Effet substrat (2)			(1)*(2)		
	Chl a	Chl b	Chl(a+b)	Chl a	Chl b	Chl(a+b)	Chl a	Chl b	Chl(a+b)
F	16,08	20,82	32,263	4,275	6,367	8,981	0,49	0,40	0,598
P	0,001	0,003	0,004	0,021	0,004	0,001	0,69	0,75	0,628
S	S	S	S	S	S	S	NS	NS	NS

S : significatif NS : non significatif

### 2.3.1 - Teneur en sucres solubles

Les résultats de la teneur en sucre solubles (Fig. 18), montrent une diminution de ce paramètre suite à l'augmentation de la concentration saline dans les deux substrats sable et sable amendé.

Néanmoins, l'influence du facteur salinité n'est pas significative au seuil de 5% sur les variations globales de la teneur en sucres (Tableau 22). Il n'y a que l'effet substrat qui est significatif pour les variations de ce paramètre sur la partie racinaire de la plante.

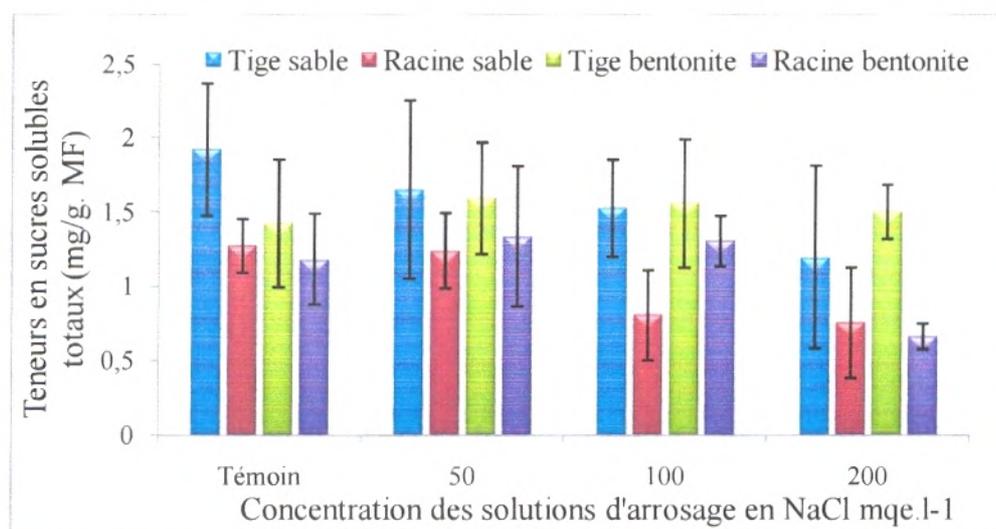


Fig.18 – Teneur en sucre solubles de la plante en fonction de la salinité pour les deux substrats

En revanche, la combinaison du traitement salinité avec bentonite selon les différents organes de plants de pois chiche, montrent une nette augmentation des teneurs en sucres par rapport au témoin. Par conséquent, dans ces organes, l’accumulation des teneurs en sucres sont fortement ralentie dans les racines à celle de tiges, lorsque la concentration dépasse à 200 meq.l<sup>-1</sup> de NaCl.

Tableau 22- Effet de la salinité sur la teneur en sucres soluble de plante de pois chiche

	Tige		Racine		Dose de NaCl
	Sable	Bentonite	Sable	Bentonite	
M+σ	1,923±0,447	1,423±0,429	1,272±0,181a	1,182±0,307a	T
	1,652±0,604	1,593±0,374	1,237±0,254a	1,335±0,472a	50
	1,528±0,326	1,562±0,429	0,809±0,305a	1,308±0,168a	100
	1,196±0,615	1,501±0,182	0,757±0,374b	0,662±0,088b	200
C.V	28,82%		27,31%		

Tableau. 23 – Analyse de variance de la teneur en sucres soluble de plante de pois chiche stressée au NaCl

	Effet salinité (1)		Effet substrat (2)		(1)*(2)	
	Tige	Racine	Tige	Racine	Tige	Racine
F	0,121	0,995	0,818	6,289	1,127	1,814
P	0,73NS	0,329NS	0,498NS	0,0027**	0,358NS	0,17NS

### 2.3.2 - Teneur en protéines totales solubles

De même que le paramètre précédent, la teneur en protéines solubles diminue suite à l’augmentation de la concentration saline par rapport aux plantes témoins pour les deux substrats (Fig. 19).

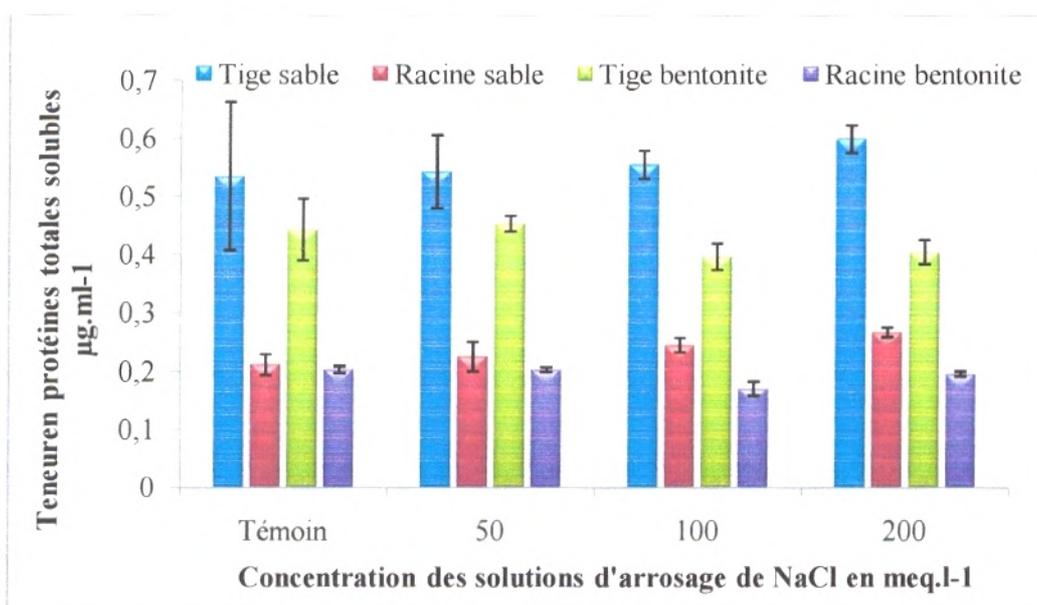


Fig. 19– Teneur en protéines totales solubles de la plante en fonction de la salinité pour les deux substrats

L'effet de la salinité sur les variations de la teneur en protéines totales solubles paraît plus important au niveau des tiges par rapport aux racines.

L'analyse de la variance (Tableaux 24 et 25), révèle un effet significatif aussi bien de la salinité que de la bentonite sur les variations globales de la teneur en protéines totales solubles dans les deux substrats à l'exception des tiges dans le substrat amendé.

Tableau. 24- Effet de la salinité sur la teneur en protéines totales de plante de pois chiche

	Tige		Racine		Dose de NaCl
	Sable	Bentonite	Sable	Bentonite	
M+σ	0,535±0,128	0,443±0,053	0,211±0,017c	0,203±0,006c	T
	0,543±0,063	0,453±0,013	0,225±0,025bc	0,202±0,004c	50
	0,555±0,024	0,396±0,023	0,244±0,012ab	0,17±0,013d	100
	0,599±0,024	0,404±0,021	0,266±0,008a	0,195±0,004c	200
C.V	11,51%		6,03%		

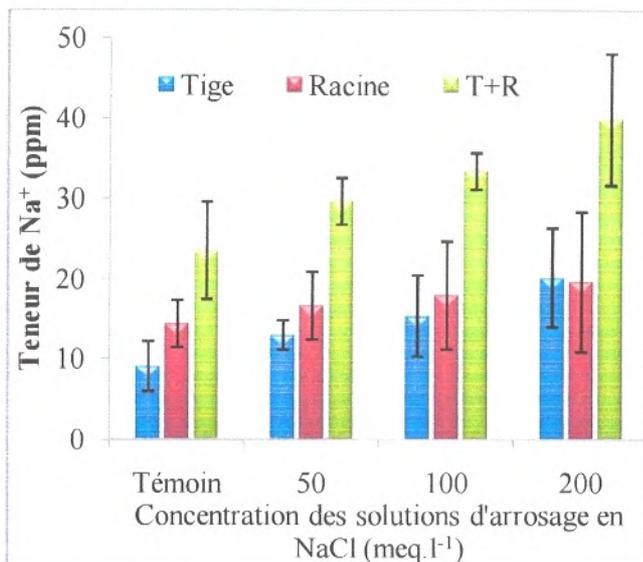
Tableau. 25 – Analyse de variance de la teneur en protéines total de plante de pois chiche stressée au NaCl

	Effet salinité (1)		Effet substrat (2)		(1)*(2)	
	Tige	Racine	Tige	Racine	Tige	Racine
F	33,706	70,105	0,249	4,543	1,272	9,859
P	0,00004***	0***	0,861NS	0,017*	0,317NS	0,0006***

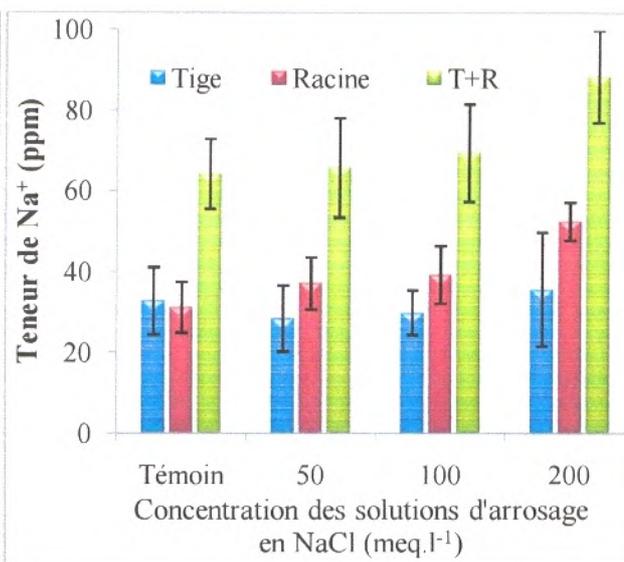
## 2.4 - Bilan minéral du sodium et du potassium dans la plante

### 2.4.1 - Teneur en sodium

Les variations de la teneur en  $\text{Na}^+$  chez la culture de pois chiche, en fonction de la salinité pour les deux substrats (Figs. 20 et 21), montrent que ce paramètre augmente suite à l'accroissement de la concentration saline dans les deux substrats par rapport aux plants témoins.



**Fig. 20**–Teneur en sodium (ppm) dans les tiges et racines cultivées en l'absence de bentonite et stressé pendant une semaine à la salinité



**Fig. 21** –Teneur en sodium (ppm) dans les tiges et racines cultivées en présence de bentonite et stressé pendant une semaine à la salinité

Dans le substrat sableux, le sel augmente la teneur en  $\text{Na}^+$  (Fig. 20) dans toutes les parties de la plante. Notons que la plus grande teneur en  $\text{Na}^+$  prélevée dans le milieu de culture se retrouve dans la partie racinaire.

En présence de bentonite, nous constatons que les teneurs en sodium dans les deux parties (tige et racines) sont plus importantes (près de 88,5 ppm pour 200 meq.l<sup>-1</sup>) comparativement à celles enregistrées chez les plantes cultivées au substrat sableux (près de 40 ppm pour 200 meq.l<sup>-1</sup>). En moyenne, les teneurs en  $\text{Na}^+$  dans le substrat amendé sont doubles de celles dans le substrat sableux.

L'analyse de la variance (tableaux 26 et 27) pour les deux parties de la plante a révélé des effets significatifs aussi bien pour le facteur salinité que pour le facteur substrat.

**Tableau. 26** – Effet de salinité sur la teneur en sodium à des plantes de pois chiche.

	Tige		Racine		Tige + Racine		Dose de NaCl
	Sable	Bentonite	Sable	Bentonite	Sable	Bentonite	
M+σ	9,08±3,13	32,94±8,4	14,42±2,9c	31,32±6,3b	23,5±6,06b	64,26±8,6b	T
	13,01±1,8	28,59±8,2	16,67±4,2c	37,348±6,4b	29,68±2,8b	65,93±12,2b	50
	15,4±5,08	39,49±5,5	17,97±6,7c	30,05±7,1b	33,41±2,2b	69,54±12,0b	100
	20,1±6,14	35,78±14,1	19,7±8,7ac	52,68±4,6a	39,88±8,2a	88,46±11,4a	200
C.V	30,69%		22,33%		16,97%		

**Tableau. 27** - Analyse de la variance de la teneur en sodium de plante de pois chiche stressée au NaCl.

	Effet salinité (1)			Effet substrat (2)			(1)*(2)		
	Tige	Racine	T + R	Tige	Racine	T+ R	Tige	Racine	T + R
F	56,16	90,4	168,96	2,23	7,722	7,985	0,838	4,228	0,882
P	0	0	0	0,109	0,0009	0,0007	0,4887	0,0155	0,4663
	S	S	S	NS	S	S	NS	S	NS

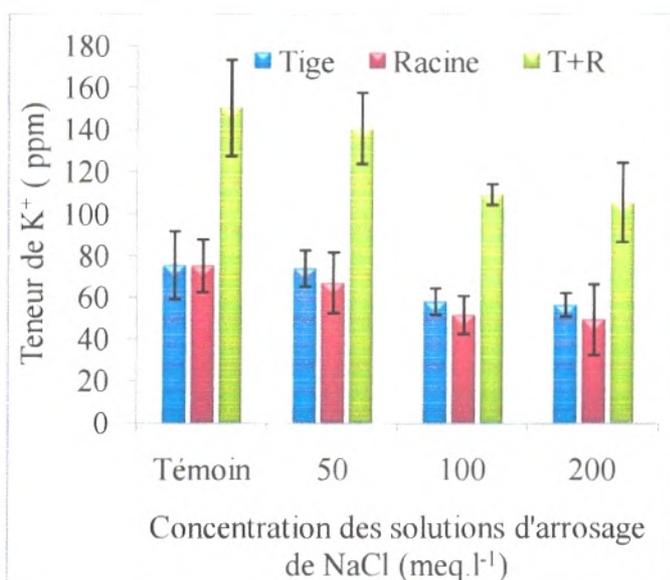
T+R : Tige + Racine    S : significatif    NS : non significatif

#### 2.4.2 - Teneur en potassium

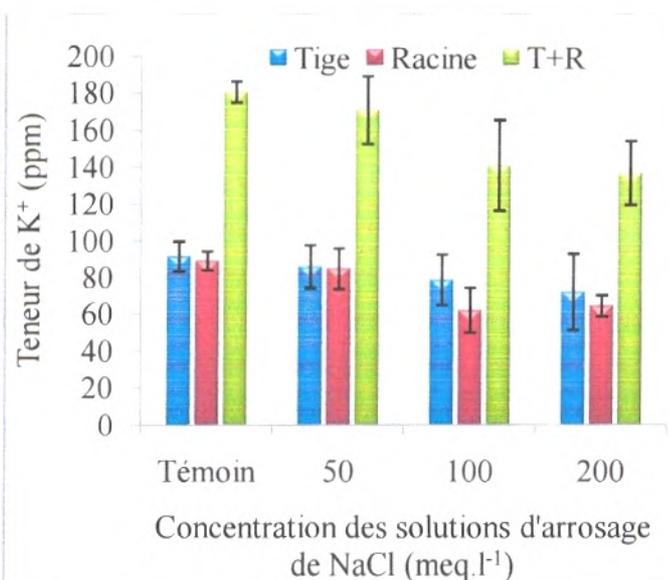
Les concentrations croissantes en sel dans le milieu réduisent fortement les teneurs de  $K^+$  dans la plante (Fig. 22 et 23). En effet dans le substrat sableux, la salinité entraîne des réductions importantes de la teneur en potassium des parties aérienne et racinaire. C'est les teneurs notées sur la partie racinaire qui sont les plus faibles.

Dans la partie aérienne, la diminution de  $K^+$  est effective à partir de 50 meq.l<sup>-1</sup>. Cette diminution est de l'ordre de 2 et 25 % respectivement pour les concentrations de 50 et 200 meq.l<sup>-1</sup> par rapport au traitement témoin. Dans les racines, la diminution de la teneur en  $K^+$  de l'ordre de 11 et 34,4 % respectivement pour les concentrations de 50 et 200 meq.l<sup>-1</sup> par rapport au traitement témoin.

Les teneurs en potassium s'équivalent entre les deux substrats.



**Fig.22** –Teneur en potassium (ppm) dans les tiges et racines cultivées en l’absence de bentonite et stressé pendant une semaine à la salinité



**Fig.23** –Teneur en potassium (ppm) dans les tiges et racines cultivées en présence de bentonite et stressé pendant une semaine à la salinité

L’analyse de variance de l’effet combinée de la salinité et de la bentonite sur la teneur en potassium montre un effet significatif de ces deux traitements (Tableaux 28 et 29).

**Tableau. 28** – Effet de salinité sur la teneur en potassium à des plantes de pois chiche.

	Tige		Racine		Tige + Racine		Dose de NaCl
	Sable	Bentonite	Sable	Bentonite	Sable	Bentonite	
M+σ	75.2±16.3a	91,44±8.13a	74.94±12.7	65.44±5.12	150.1±22.8a	156.8±5.6a	T
	73.72±8.7a	85,92±11.7a	66.84±14.6	62.33±11.1	140.5±16.9a	148.2±18.3a	50
	57.8±6.3ab	78,6±13.6ab	51.36±9.03	62.1±12.16	109.1±4.9b	140.7±24.4b	100
	56.24±5.6b	72,16±20.7b	49.16±16.9	64.42±5.89	105.4±18.9b	136.5±17.1b	200
C.V	16,84%		18,70%		12,87%		

**Tableau. 29** - Analyse de la variance de la teneur en potassium de plante de pois chiche stressée au NaCl.

	Effet salinité (1)			Effet substrat (2)			(1)*(2)		
	Tige	Racine	T + R	Tige	Racine	T + R	Tige	Racine	T + R
F	13,71	0,533	9,712	4,312	2,546	6,309	0,162	2,094	1,275
P	0,001	0,47883	0,00468	0,0143	0,0788	0,00269	0,9204	0,1264	0,30548
S	S	NS	S	S	NS	S	NS	NS	NS

S : significatif NS : non significatif

DISCUSSION  
ET CONCLUSION  
GÉNÉRALE

### III. Discussion et Conclusion générale

La salinité peut constituer une gêne majeure au développement de la production agricole, notamment dans les zones semi-aride et aride. Ce phénomène crée des variations importantes du rendement. Il faut distinguer que la salinité des sols constitue des effets où les comportements éco-physiologiques et biochimiques des plantes de pois chiche sont limités.

Ce modeste travail a pour l'objectif de modifier certains des propriétés physico-chimiques d'un sol salée 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 pois chiche, et de définir l'action de la présence de la bentonite sur ces mêmes plantes stressées en NaCl.

Dans un premier temps, l'étude du comportement germinatif de pois chiche, en condition de stress salin, ont permis d'obtenir les principaux résultats suivants :

La germination des graines est le premier stade physiologique affecté par la salinité.

L'étude de l'effet du stress salin a révélé que l'élévation de la concentration du chlorure de sodium provoque une diminution de taux moyenne de germination à des fortes doses avec une réduction de 7.67% par rapport aux témoins sans sel

L'influence de la salinité sur le pouvoir germinatif des graines de pois chiche s'est manifestée par une réduction de la vitesse de germination (élévation de la durée médiane de germination) par rapport aux témoins, réduction d'autant plus importante que la concentration en sel est élevée. La vitesse de germination ( $t_{50}$ ) est maximal, il est de 46,15 à 0meq.l<sup>-1</sup> et passe à 81.81 à 200meq.l<sup>-1</sup>. Au contraire le temps moyen de germination s'allonge avec la concentration croissante en NaCl.

Avec l'augmentation de la concentration des traitements, des modifications de la cinétique de germination sont aussi enregistrés avec une grande amplitude de variation de ce paramètre. Nous avons constaté également que le démarrage de la germination a été rapide en absence de sel avec un 90% de capacité germinative, par contre, ce paramètre est retardé avec un taux de 40% pour la concentration 200meq.l<sup>-1</sup>. AZAIZEH et *al.* (1992) ont démontré que le NaCl a des effets néfastes sur le transport de l'eau dans les cellules de la racine et le Ca<sup>2+</sup> pourrait, en partie, compenser ces effets. Par ailleurs, le NaCl affecte la perméabilité de la membrane plasmique en augmentant l'influx des ions externes et l'efflux des solutions du cytosol (Allen et *al.*, 1995).

Le taux final de germination est de 90% pour les graines imbibées par l'eau déminéralisée, il diminue et atteint 78% pour les graines recevant 50meq.l<sup>-1</sup> et 100meq.l<sup>-1</sup> de la solution saline. Tandis qu'il se stabilise à 44% chez les graines recevant 200meq.l<sup>-1</sup> de la solution saline.

Le mécanisme de la salinité sur la germination semble être double, d'une part l'accroissement de tension osmotique dû à la présence du sel gêne l'alimentation hydrique de la graine et vient donc augmenter les risques inhérents à la sécheresse, (Pujol et *al.*,1999 ; Tobe et *al.*,2002 ; Murillo-Amador et *al.*,2002 ; Khajeh-Hosseini et *al.*,2003), d'autre part les ions peuvent avoir, des effets spécifiques sur le métabolisme du végétal qui se trouve ainsi perturbé (Duan et *al.*, 2004 ; Joshi et *al.*,2004)

L'absorption du Na<sup>+</sup> par les graines provoque des effets toxiques sur la germination des graines, principalement par la perturbation du déplacement de Ca<sup>2+</sup> par Na<sup>+</sup> dans la paroi cellulaire ce qui pourrait perturber sa synthèse et par conséquent, empêche la croissance des racines (Zidane et *al.*,1991; Xue et *al.*,2004 ; Martinez et *al.*,2004).

En revanche, le sel semble avoir un effet négatif sur la perméabilité de la membrane plasmique en augmentant l'influx des ions externes et l'efflux des solutions du cytosol (Allen et *al.*, 1995).

L'étude des paramètres physiologiques et biochimiques de la plante du pois chiche, ont été examinés face à l'interaction salinité- bentonite.

L'addition de la bentonite à des doses de 7% dans les substrats de cultures et en absence de traitement salin, se manifeste par une aggravation des symptômes foliaires. A cet effet, nos résultats démontrent un ralentissement dans l'émission des feuilles chez les plantes de pois chiche comme effet direct de bentonite sur le développement de l'appareil foliaire. Néanmoins le pois chiche a présenté une sensibilité remarquable vis-à-vis de la bentonite ce qui explique son adaptation aux des sols « légers » et non asphyxiants, qui ont une capacité à se réchauffer rapidement.

Action combinée de salinité et bentonite ne produit aucun changement significatif du symptôme sur les feuilles.

Les propriétés physiques affectées par la présence de sodium se traduisent par des modifications de retrait- gonflement, le point d'entrée d'air n'est pas sensiblement modifié. Par contre, le retrait résiduel, qui est faible en absence de sel, devient notable, on a donc, compte tenu de la présence du cation Na<sup>+</sup>, des arrangements particuliers de la phase argileuse, qui maintiennent un certain gonflement durant la déshydratation. Cette possibilité de gonflement va se traduire, au niveau structural, par une cohésion

plus forte des massifs d'agrégats. Cette cohésion qui peut être acquise, après une irrigation et un dessèchement ultérieur, peut provoquer l'existence de massifs indurés, pouvant s'opposer en profondeur à la pénétration des racines ou, en surface, à l'émergence des semis. Si par contre, on maintient une humidité, sans séchage notable, la résistance reste inférieure et les conditions mécaniques sont plus satisfaisantes. Il y a donc une recherche de compromis à trouver entre des apports d'eau salée plus ou moins permanents, accroissant le stock de sodium échangeable, et le risque d'une dessiccation provoquant une détérioration des propriétés mécaniques (Sigala, F 1987)

Au niveau des résultats sur les aspects morphologiques, les plantes de pois chiche ont été exposées à la salinité des eaux d'arrosage s'est manifesté par une action dépressive de la croissance des plantes.

Par ailleurs, en associant la bentonite comme d'autre facteur à la salinité, cette combinaison s'est manifestée par une double réduction de la croissance. Cette perturbation du développement pourrait être expliquée par une plus grande sensibilité des plantes aux concentrations fortes élevées de NaCl de l'ordre de 200meq.l<sup>-1</sup>. En revanche, l'interaction salinité-bentonite a perturbé le développement de plante entière en retardant le déploiement des feuilles, sachant que longueur de la plante n'est pas réduit par la bentonite seule ou par la salinité seule. En ce qui concerne les concentrations salins, les meilleurs résultats sont obtenus avec 50meq.l<sup>-1</sup>, la croissance de la plante entière y a été de 42.42 cm contre 38.21 cm avec l'eau déminéralisée. Munns (2002), indique que le sel réduit l'aptitude des plantes à absorber l'eau et cela cause rapidement une diminution de la croissance avec des changements métaboliques identiques à ceux observés par le stress hydrique.

Il convient de noter que le sel a eu un effet négatif sur le poids frais et le poids sec des tiges et racines des deux substrats étudiées dans nos conditions expérimentales. Cette réduction est d'autant plus importante que la concentration du milieu en NaCl augmente. Mayak et *al.*, (2004), il a été rapporté que le sel influence le rapport tiges / racines.

Il faut signaler que les effets de la salinité sur la productivité ne sont pas toujours négatifs. Nous avons observé que des concentrations faibles en NaCl (50meq.l<sup>-1</sup>) dans le milieu provoquent une stimulation de la production de la matière sèche et fraîche des organes aériens et souterrains environ 4 % par rapport au témoin sans sel sur le substrat bentonite.

Comme la plante contient 80% d'eau en moyenne, cela en fait le principal composant en termes de masse. Dans cette optique, l'eau est encore un facteur de croissance. A l'échelle cellulaire, elle permet la synthèse de substances organiques aux plantes chlorophylliennes.

Une augmentation brutale de la salinité se traduit par une baisse de la turgescence, liée à la diminution de potentiel hydrique.

A partir de nos résultats, on peut conclure que la salinité se traduit par une réduction importante de l'eau contenue chez les plantes pour les deux substrats de cultures. Gale, et *al.*, (1967), qui affirment que le sel diminue la transpiration des glycophytes.

En revanche, l'action combinée de la salinité et bentonite sur la teneur en eau dans les différentes parties de la plante deviennent légèrement supérieures quand les plantes sont arrosées à la solution de  $50\text{meq.l}^{-1}$ .

Des relations positives, de type linéaire, sont observées entre le volume de la production et l'eau consommée (Freeman et Kliewer, 1983 ; Bravdo et *al.*, 1984 ; 1985 ; Jackson et Lombard, 1993).

La photosynthèse est le processus biologique caractéristique des plantes supérieures, des algues et de quelques bactéries (Ke, 2001). La salinité est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la photosynthèse. Dans ce cas, il est essentiel d'évaluer le potentiel de la fluorescence chlorophyllienne pour détecter la réponse de pois chiche à la salinité.

Nos résultats montrent au terme de la concentration croissante en NaCl, une réduction du contenu en chlorophylle d'une façon significative entre les deux substrats étudiés. En effet, les valeurs de teneur de la chlorophylle dans les feuilles des plantes cultivées dans le substrat bentonite en présence de sel ont été inférieures que celui du substrat sable. Par contre, l'arrosage des plantes à la concentration  $50\text{meq.l}^{-1}$  en présence de bentonite qui se reflète par une légère diminution de la quantité en chlorophylle par rapport à la série témoin.

La salinité tout comme la sécheresse ont pour conséquence de réduire la photosynthèse nette par la réduction des échanges gazeux mais aussi de l'activité photochimique (Eastman & Camm 1995, Orcutt & Nilsen 2000, Godde 1999, Ortega et al. 2004). Ce qui correspond à une étude menée par Seemann et *al* (1986), qui a rapporté que la salinité (100 mM en NaCl) du milieu réduit la capacité photosynthétique chez feuilles de *Phaseolus vulgaris* L.

Selon Kicheva et *al.*, (1994), la diminution de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire à cause de la salinité, a pour conséquence de la fermeture des stomates et la limitation de la photosynthèse.

D'un point de vue biochimique, la réduction de la photosynthèse, liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, est supposée dépendre à la fois de la fermeture des stomates, avec pour conséquence une diminution de la conductance à la diffusion du  $\text{CO}_2$  et d'une

limitation biochimique du chloroplaste à fixer le CO<sub>2</sub> (Tardieu et Simoneau, 1998 ; Escolana et al., 1999 Flexas et Medrano, 2002.).

Selon Munns et Termaat (1986), durant une exposition à long terme à la salinité. Les symptômes visuels de la sénescence des feuilles en réponse à la salinité sont associés à la réduction du contenu de la chlorophylle (Viégas et Siveira, 1999).

La réduction de la concentration en chlorophylle en conditions de stress salin est attribuée à l'augmentation de l'activité des enzymes catalytiques, les chlorophyllases (Rao, 1981).

Lors d'un stress salin, le potentiel hydrique de la plante peut être maintenu par un ajustement osmotique. Cet ajustement implique l'accumulation, au niveau cellulaire, de sucres solubles totaux. D'une manière générale, les teneurs en sucres sont utilisées comme critères de tolérance à la salinité chez plusieurs espèces (Rathert, 1984 ; Misra & Dwivedi, 1995).

D'après nos résultats, le stress salin appliqué aux plantes de pois chiche modifie le métabolisme des glucides en augmentant l'accumulation des sucres solubles totaux chez les deux substrats étudiés. Cependant, cette accumulation est négative aux niveaux des tiges et des racines lorsque la concentration est dépassée de 100meq.l<sup>-1</sup> en NaCl.

Il faut remarquer que l'accumulation des sucres solubles totaux chez les plantes recevant 50meq.l<sup>-1</sup> de la solution saline est supérieure à celle enregistrée chez les autres concentrations, ceci peut être dû à l'effet combiné de bentonite et la concentration 50meq.l<sup>-1</sup>. Des travaux sur *Vigna* ont montré que l'accumulation des sucres totaux solubles est observée chez *Vigna unguiculata* L. Par contre, chez *Vigna radiata* L, le contenu cellulaire en sucres et en saccharose est réduit sous stress salin au NaCl (SILVA et al., 2003; ABDEL HALEEM et al., 2007). En effet, l'accumulation des sucres solubles totaux chez les plantes a été largement reportée comme une réponse à la salinité et à la sécheresse, souvent accompagnée par une décroissance significative concernant la vitesse d'assimilation de CO<sub>2</sub> (ASHRAF, 2004).

Selon les résultats acquis au cours de cette expérience, la contrainte saline augmente considérablement le contenu de protéines totales libres chez les deux parties de la plante cultivée au substrat sable. En revanche, l'effet combiné de la salinité et de la bentonite ont montré une réduction régulière de l'accumulation de protéines totales libres dans les différents organes des plantes. Cependant, cette accumulation est restée supérieure au niveau des tiges par rapport à la série témoin en réponse à la concentration de 50meq.l<sup>-1</sup> en NaCl.

En effet, chez *Nicotiana rustica* et *Anacardium occidentale* et le *Sorghum bicolor*, il y a accumulation des protéines totales solubles (CUSIDO et al., 1986; VIEGAS et al., 2004 ; OLIVEIRA et al., 2006). Selon HAMDIA et al., (2004), chez deux cultivars de maïs une tolérante et l'autre sensible à la salinité, il y a un accroissement des protéines totales solubles au niveau des tiges et des racines par contre chez la seconde il y a une diminution de ce taux. Les teneurs en  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ , ont été analysées au niveau de l'ensemble partie aérienne+racines des plantes de pois chiche différemment stressées par le sel, avec et sans traitement à la bentonite.

Nos résultats montrent l'existence d'une similitude entre l'effet de la salinité et l'action de bentonite sur la nutrition minérale des plantes de pois chiche.

La salinité appliquée a provoqué une augmentation significative des teneurs en sodium dans les deux organes du pois chiche. Notons, également, que la plus grande partie de  $\text{Na}^+$  prélevée dans le milieu de culture se retrouve dans la partie racinaire.

Les plantes cultivées dans les substrats de bentonite et stressées à salinité accumulent des teneurs plus importantes que les plantes cultivées dans les substrats non traités à la bentonite et recevant les mêmes concentrations saline.

Tal et al., (1978) ; Arahou, (1986 ) et Ullah et al., (1994) qui ont rapporté une augmentation des teneurs en  $\text{Na}^+$  des feuilles de tomate en présence de sel. Rush & Epstein, (1981) et Schachtman & Munns, (1992), ont attribué l'aptitude des plantes à transporter les ions  $\text{Na}^+$  dans les feuilles avec la tolérance au sel. En outre, il a été montré que certaines plantes tolérantes accumulent l'ion  $\text{Na}^+$  dans les feuilles alors que chez les plantes sensibles comme l'haricot, le  $\text{Na}^+$  n'est pas ou peu transporté vers les feuilles et s'accumulent dans les racines (Slama, 1986).

Les cations sont liés aux feuillets de bentonite par des forces de nature électrostatique et possèdent la propriété d'être échangeables. Cette facilité d'échange sera aussi un facteur influant sur la nutrition minérale des plantes.

Le classement général admis et cité par Wakim J, (2005).  $\text{Li}^+ \text{Na}^+ \text{NH}_4^+ \text{K}^+ \text{Mg}^{2+} \text{Ca}^{2+} \text{Al}^{3+}$ . D'après cette série, le sodium est le plus facile à remplacer alors que l'aluminium est le plus difficile.

L'apport des concentrations croissantes en  $\text{NaCl}$  se traduit par une diminution du contenu en potassium chez les deux substrats de cultures avec des taux plus élevés en potassium sont enregistrés au substrat bentonite. Par contre, et en présence du milieu en sel

en 50meq.l<sup>-1</sup>, aucune différence de la teneur en K<sup>+</sup> entre les deux parties n'a été enregistrée. Ainsi que le taux de cet élément baisse faiblement contrairement aux témoins.

Dans cette fois ici, nous avons observés également, que la plus grande partie de K<sup>+</sup> prélevée dans le milieu de culture se retrouve dans les parties aériennes.

Dans ces conditions de salinité associé avec la présence de bentonite l'aptitude d'absorption de potassium par les racines devient un facteur important qui influe le niveau de sélectivité ioniques (Alem et Amri., 2005).

L'amélioration des teneurs en potassium met en évidence la richesse de la bentonite en Ca<sup>2+</sup> (Achour et Youcef., 2003). L'apport externe de Ca<sup>2+</sup> a été exhibé pour améliorer les effets nuisibles de la salinité sur les plantes (HASEGAWA et *al.*, 2000) vraisemblablement en facilitant une sélectivité K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> plus élevée (Shabala., 2003).

Au niveau cellulaire, la sélectivité ionique est reliée aux performances de nombreux transporteurs ioniques qui sont très étudiés (CUARTERO et *al.*, 2006). MEZNI et *al.*, (2002) montre que la teneur en K<sup>+</sup> dans les feuilles et des tiges diminue chez trois variétés de luzernes en fonction des concentrations croissantes de NaCl, la migration de Na<sup>+</sup> vers les parties aériennes augmente significativement à la fois en fonction de l'intensité et la durée de stress salin.

GHOULAM et *al.*, (2002) ont observé une augmentation du contenu en Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> dans les feuilles et les racines de *Beta vulgaris* à l'égard de l'augmentation de la concentration en NaCl dans le profil racinaire, le contenu des feuilles en K<sup>+</sup> diminue en réponse, mais celui des racines n'est pas affecté.

RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES

## Références bibliographiques

- **AbdelBaki, G.K., Siefert, F., Man, H.M., Welner, H., Kaldenhoff, R., Kaiser, W.M.,** (2000). Nitrate reductase in *Zea mays* L. under salinity. *Plant Cell Environ.* 23, 15–521.
- **Abdelguerfi-Laouar M., Zine F., Bouzid L., Laib M. et Kadri A.,** 2001B. Caractérisation préliminaire de quelques cultivars de *Cicer arietinum* L. Collectés dans la région de Tizi Ouzou. *Revue INRAA* n°7, P : 51-65
- **Abdelouahab C., Ait Amar H., Obertenov T.Z., Gaid, A.** (1987). Fixation sur des argiles bentonitiques d'ions métalliques présents dans les eaux résiduaires industrielles cas du Cd(II) et du Zn(II), *Rev. Sci. Eau.*, 13, 2, 33-40
- **Abd El Samad H.M., El Komy H.M., Shaddad M. A. K., Hetta A.M.** (2005): Effect of molybdenum on nitrogenase and nitrate reductase activities of wheat Inoculated with *Azospirillum brasilense* grown under drought stress. *Gen.Appl. Plant Physiology.* 31 (1-2), 43-54.
- **Achour. S et Youcef L.,** 2003 -Élimination du cadmium par adsorption sur bentonites sodique et calcique. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 02, Juin 2003, pp. 68-81 © 2003 Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface.
- **Agassi M., Shainberg I., Morin J.,** 1981 - Effect of electrolyte and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: pp. 848-851.
- **Apse, M.P., Aharon, G.S., Snedden, W.A., and Blumwald, E,** (1999): Salt tolerance conferred by overexpression of vacuolar Na<sup>+</sup> / H<sup>+</sup> antiport in *Arabidopsis*. *Science.* 285: 1256-1258.
- **Alem C et Amri Ahmed.,** 2005-Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Reviews in biology and biotechnology* Vol.4, pp20-31.
- **Alemdar, A., N. Oztekin, N. Gungor, O. I. Ece and F. B. Erim,** "Effects of polyethyleneimine adsorption on the rheological properties of purified bentonite suspensions" *Colloids Surf. A* 252, 95-98 (2005a).
- **Allen G. J., Muir S. R. and Sanders D.,** 1995 - Release of Ca<sup>2+</sup> from individual plant vacuoles by both InsP<sub>3</sub> and cyclic ADP-ribose. *Science* 268: 735-737.
- **Allakhverdiev SI., Sakamoto A, Nishiyama Y., Murata N.** Inactivation of photosystems I and II in response to osmotic stress in *Synechococcus*: contribution of water channels. *Plant Physiol.* 2000; 122:1201–1208.
- **Anonyme.** 1988. Le pois chiche et la lentille. Ed. ITGC, Alger. 45p.

- **Arahou M.**, 1986. Contribution à l'étude de l'interaction kinétine-NaCl sur certains aspects physiologiques chez la tomate: *Lycopersicon esculentum* (Mill). D.E.S., Université Mohammed V, 107p
- **Ashraf M.**, 1994 – Breeding for salinity tolerance in plants. Critical reviews in Plant Sciences, 13 (1), 17 - 42.
- **Ashraf M., Harris P.J.C.**, 2004 - Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Science, 166: 3–16 Review
- **Aubert G.**, (1983) - Observations sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols dits (salés) ou salsodiques. Cahier d'ORSTOM, série. Pédologie, XX, 1, pp. 73 -78
- **Azaizeh H.; Gunse B. and Steudle E.**, 1992 - Effects of NaCl and CaCl<sub>2</sub> on Water Transport across Root Cells of Maize (*Zea mays* L.) Seedlings I Plant Physiology 99:886-894. American Society of Plant Biologists
- **Batanouny K H.**, 1993 - Eco physiology of halophytes and their traditional use in the Arab world. Advanced Course on halophyte utilization in Agriculture, 12 Sept., Agadir, Morocco.
- **Belkhodja.**, 1996- Action de la salinité sur le comportement physiologique métabolique chez la fève (*Vicia faba* L).Thèse doctorat. Université d'Oran. 255p.
- **Belkhodja M., Bidai Y.**, 2004, 2005- 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.
- **Bendjama Z.** (1982). Sorption du mercure par des bentonites algériennes activées, Thèse de Magister en Génie – Chimique, E.N.P.
- **Ben Rhaïem, H., D. Tessier and C. H. Pons**, "Comportement hydrique et évolution structurale et texturale des montmorillonites au cours d'un cycle de dessiccation-humectation; I, Cas des 181 montmorillonites calciques" Clay Minerals 21, 9-29 (1986).
- **Bérend, I.**, 1991- "Mécanismes d'hydratation des montmorillonites homoioniques pour des pressions relatives inférieures à 0.95," Thèse d'Université (Institut National Polytechnique de Lorraine).
- **Berthomieu P., Conéjéro G., Nublat A., Brackenbury W.J., Lambert C., Savio C., Uozumi N., Oiki S., Yamada K., Cellier F., Gosti F., Simonneau T., Essah P.A., Tester M., Very A-A, Sentenac H. & Casse F.** (2003):Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na<sup>+</sup> recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. Embo Journal 22: 2004-2014.
- **Besq, A.**, (2000) "Ecoulements laminaires de suspensions de bentonite industrielles. Caractérisation rhéométrique - Ecoulements en conduites axisymétriques. Applications aux activités du Génie Civil," Thèse de doctorat de l'Université de Poitiers.

- **Bohn, H.L., McNeal, B. L. and OComor, G. A. (1979):** Salt affected soils. In: Soil chemistry. Bohn, J. W. and Sons, New York. pp. 217-246.
- **Bohnert H.J., & Jensen, R.G., 1996.** Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. Trends Biotech. 14: 89-97.
- **Bouteyre Guy, Loyer Jean-Yves.** Sols salés, eaux saumâtres des régions arides tropicales et méditerranéennes : principaux faciès, conséquences pour l'agriculture. In : Le Floch E. (ed.), **Grouzis Michel (ed.), Cornet Antoine (ed.), Bille Jean-Claude (ed.).** *L'aridité : une contrainte au développement : caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés.* Paris : ORSTOM, 1992, p. 69-80. (Didactiques). ISBN 2-7099-1068-3
- **Bradford M.M., 1976-**A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding .Anal Biochem.V 72 P 248-254.
- **Brady, RR., and Nyle, C. (1996):** Alkaline and salt-affected soils and their management. In : The nature and properties of soils. 11th Edition. pp. 307-326.
- **Bravdo, B., Y. Hepner, C., Loinger, S., Cohen, and H. Tabacman.** 1984. Effect of crop level on growth, yield and wine quality of a high-yielding Carignane vineyard. Am. J. Enol. Vitic. 35:247-252.
- **Breen, C.,** "The characterisation and use of polycation-exchanged bentonites" Appl. Clay Sci. 15, 187- 219 (1999).
- **Bryssine (1961) :** la salinité du sol et ses problèmes.
- **Bruns, R., et Barz, W.** 2001. Studies on cell number and nuclei in spores and on ploidy level in *Ascochyta rabiei* isolates. *Journal of Phytopathology* 149 : 253-258.
- **Bultel Frédéric,** (2001); «Prise en compte du gonflement des terrains pour le dimensionnement des revêtements des tunnels». Thèse doctorat l'école nationale des ponts et chaussées.
- **Caillère, S., S. Hénin and M. Rautureau,** "Minéralogie des argiles" Masson, Tomes 1 et 2, 184p et 189p (1982).
- **Callaghan, I.C. and R.H. Ottewill,** "Interparticle forces in montmorillonite gels" Faraday Discussions of the Chemical Society 57, 110 -118 (1974).
- **Chamard P.,** 1993.- Environnement et développement. Références particulières aux états sahéliens membres du CCILS. Rev. Sécheresse, 4, P.1723-28.
- **Chartzoulakis K., Klapaki G. (2000):** Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. Sci. Hortic. 86, 247–260.

- **Cherbuy B. 1991-** Les sols salés et leur réhabilitation: étude bibliographique: localisation des sols salés et mécanismes de salinisation: réhabilitation des sols salsodiques.
- **Cheverry, C., (1995).** Plant behaviour in saline environment. Action eau N°4, Séance spécialisée du 22 mars 1995; Ed. Acad. agro, Paris, France, 49 pages.
- **Cheverry, C., et Bourrie. G (1998).** La salinisation des sols. Dans : Sol, interface fragile, STENGEL P. et GELIN I. [Éditeurs], INRA Edition, 109-123.
- **Cheverry C., Robert M., 1993-** Salure des sols maghrébins, influence sur les propriétés physico-chimiques des sols. Répercussion des modifications de ces dernières sur la fertilité, notamment azotée des sols Rennes. ENSA, 59p.
- **Claude, M., Wolter, C., Claude, J., Berthelin, J., Louis, M.J., 2005.** Sol et environnement. Ed. Dunod, Paris. 816 p.
- **Côme D.** Les obstacles de la germination. Paris : Masson, 1970 ; 162 p.
- **Crowe JH., Hoekstra FA., Crowe LM 1992-** Anhydrobiosis. Annal Rev physiol 54:579.599 De choc thermique hsp27. 84p.
- **Cuartero, J., M.C. Bolarin, M.J. Asins and V. Moreno. 2006.** Increasing salt tolerance in the tomato. J. Exp. Bot., 57(5): 1045-1058.
- **Cushman JC., Meyer G., Michalowski CB., Schmitt JM., Bohnert HJ (1989)** Salt stress leads to the differential expression of two isogenes of phosphoenolpyruvate carboxylase during crassulacean acid metabolism induction in the common ice plant. Plant Cell 1:715–725.
- **Cusido.R.M., Palazon.J., Altabella.T., Morales.C. 1986-**Effect of salinity on soluble protein , free amino acids and nicotine contents in *Nicotiana rustica* L. Plant And Soil .V102,n° 01, p 55-60.
- **Daoud Y., (1993) -** Contribution à l'étude des sols des plaines du Chelif. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse de Doctorat d'Etat, INA, Alger, 233 p.
- **Dau, J. and G. Lagaly,** "Surface Modification of Bentonites. II. Modification of Montmorillonite with Cationic Poly (ethylene oxides)" 71, 983-1004 (1998).
- **Delfine S., Alvino A., Zacchini M. and Loreto F., 1998-** Consequences of salt stress on conductance to CO<sub>2</sub> diffusion, rubisco characteristics and anatomy of spinach leaves. Aust. J. Plant Physiol. 25, 395-402.
- **Denden M., Bettaieb T., Sahli A., Mathlouthi M. (2005):** Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. Tropicultura. Vol. 23 N°4, pp220-226.

- **Didier G.** 1972. Gonflement cristallin des montmorillonites. Sa prévision. Thèse matériaux. Lyon : Claude Bernard-Lyon, 109.
- **Dietz, S. et R. Chiasson.** 2001. Gulf of St. Lawrence Aster (*Symphyotrichum laurentianum*) management and monitoring plan. Parc national de Kouchibouguac. Mars 2001. Projet Siffleur. 27 p.
- **Djili K., Daoud Y., 2000-** Influence des hauteurs des précipitations sur la répartition du calcaire et du pourcentage de sodium échangeable dans les sols du Nord de l'Algérie. Sécheresse vol. 11,(1),p. 37-43.
- **Duan D.; Liu x.; Khan M. A. and Gul B.** 2004-Effects of salt and water stress on the seed germination of *Chenopodium glaucum* L. Pak J Bot. 36(4):793–800.
- **Dubois.M, Gilles.K.A, Hamilton .J.K, Resers and Smith.F.,** 1956 Colorimetric method for determination of sugars and related substances .Analytical chemistry , volume 28 (3), p 350-356.
- **Duchaufour (Ph.),** 1988. - Pédologie. Masson éd., 224 p
- **Duke, J.A.** 1981. Handbook of legumes of world economic importance. Plenum Press, New York. p. 52-57.
- **Durand J.H., 1983** - Les sols irrigables, Techniques vivantes. Pesse, Univ. France., 339 P.
- **Eastman PAK and Camm EL** (1995) Regulation of photo- synthesis in interior spruce during water-stress: changes in gas-exchange and chlorophyll fluorescence. Tree Physiol 15: 229–235
- **Elaoufir, A.** 2001. Etude du flétrissement vasculaire du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) causé par le *Fusarium oxysporum* f. sp. *Ciceri*. Evaluation de la fiabilité de l'analyse isoenzymatique et de la compatibilité végétative pour la caractérisation des races physiologiques. Ph. D. de la faculté des sciences de l'agriculture, Univ. Laval, Québec, Canada. 178p.
- **Escalona, J.M., J. Flexas, and H. Medrano.** 1999. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. Australian Journal of Plant Physiol. 26:421-433
- **Faisandier, K.** (1997). "Analyse multiéchelle de dispersion de montmorillonites par diffusion des rayons X. Relations entre structure, texture et propriétés macroscopiques de gonflement," Thèse de l'Université de d'Orléans.
- **Faostat, 2011:** base de données de l'organisation mondiale de l'agriculture et de l'alimentation [www.faostat.org/chickpea/stat.cal](http://www.faostat.org/chickpea/stat.cal).
- **Freeman, B.M. and Kliever, W.M.** (1983) Effect of irrigation, crop level and potassium fertilisation on Carignane vines II. Grape and wine quality. American Journal of Enology and Viticulture 34, 197–207.

- **Feret, B.**, "Interactions dans les systèmes montmorillonite/Carboxymethylcellulose : application aux fluides de forage," Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie (1992).
- **Flexas, J. & Medrano, H.** 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of Botany* 89: 183-189.
- **Flores P., Botella M.A., Martinez V., Cedra A. (2000):** Ionic and osmotic effects on nitrate reductase activity in tomato seedlings. *J. Plant Physiol.* 156, 552–557.
- **Gadallah, M.A.A., 1999.** Effects of proline and glycinebetaine on *Vicia faba* response to salt stress. *Biol. Plant.* 42, 249–257.
- **Gale J. H.C. Kohl and R.M. Hagan (1967):** Changes in the water balance and photosynthesis of onion, bean and cotton plants under saline conditions. *Plant*; 20, 2: 408-20.
- **Gag, B. K., Vyas, SP., Kathju, S., Lahiri, A. N., Mali, P. C. and Sharma, P. C. (1993):** Salinity-fertility interaction on growth, mineral composition and nitrogen metabolism of Indian Mustard. *J. Plant Nut* 16(9): 1637-1650.
- **Gan, Y. T., Siddique, K. H. M., Macleod, W. J. et Jayakumar, P.** 2006. Management options for minimizing the damage by *Ascochyta* blight (*Ascochyta rabiei*) in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Res.* 97 : 121-134.
- **Garg, B. K., Vyas, S. P., Kathju, S., Lahiri, A. N., Mali, P. C. and Sharma, P. C.(1993):** Salinity-fertility interaction on growth, mineral composition and nitrogen metabolism of Indian Mustard. *J. Plant Nut* 16(9): 1637-1650.
- **Gassemi, F., A.J. Jakeman and H.A. Nix. 1995.** Salinization of Land and Water Resources. UNSW Press, Sydney.
- **Gaucher Gilbert et Sylvie Burdin January (1974) :** Book Géologie, Géomorphologie Et Hydrologie Des Terrains Sales : Contribution aux techniques d'amélioration des terrains salés.
- **Ghoulam C., Foursy A. and Fares K., 2002-** Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environ. Exp. Bot.* 47, 39-50.
- **Glaeser, R., (1953)** "Complexes organo-argileux et rôle des cations échangeables." Thèse de doctorat d'état d'Université Paris VI.
- **Godde D. (1999):** Adaptation of the photosynthetic apparatus to stress conditions. In: Lerner.
- **Goodwin, M.** 2005. Profil de la culture de pois chiche au Canada. Ed. AAFC (Agriculture et Agri-Food Canada). Ottawa, Ontario, Canada. 28p.

- **Halilat M.T., 1998.** Étude expérimentale de sable additionné d'argile, comportement physique et organisation en conditions salines et sodiques. Thèse. Doct. I.N.R.A. I.N.A. Paris. Grigon. 229p.
- **Halitim A., 1988.** Sols de régions arides d'Algérie. Alger. 384p
- **Halitim A., Robert M., Tessier D. et Prost R., (1984)** - Influence de cations échangeables ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) et de la concentration saline sur le comportement physique (rétention en eau et conductivité hydraulique) de la montmorillonite. *Agronomie*, 4, pp. 451 - 459.
- **Hamadache A., Boulafa H., Aknine M., 1997.** Mise en évidence de la période de sensibilité maximale du pois chiche d'hiver envers les mauvaises herbes annuelles dans la zone littorale. *Céréaliculture*. 31 :25-28.
- **Hamdia. M., Shaddad. M.a.k., Doaa. M.M., 2004-**Mechanisms of salt tolerance and interactive effects of azospirillum brasiliense inoculation on maize cultivars grown under salt stress conditions. *Plant Growth Regulation*. V 44, n° 02, p 165-174. (10).
- **Hamza M. 1977-** Action de différents régimes d'apport du chlorure de sodium sur la physiologie de deux légumineuses : *Phaseolus vulgaris* (sensible) et *Hedysarum carnosum* (tolérante). Relations hydriques et relations ioniques. Thèse d'Etat. Paris : Université de Paris VII, 252 p.
- **Hare P.D & W.A Cress, 1997-**Metabolic implications of stress induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulation*, 21,79-102.
- **Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.-K. & Bohnert H.J. (2000):** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Biology and Molecular Biology* 51: 463-499.
- **Hendricks, S. B., R. A. Nelson and L. T. Alexander, (1940)** "Hydration Mechanism of the Clay Mineral Montmorillonite Saturated with Various Cations" *J. Am. Chem. Soc.* 62, 1457-1464 .
- **Higazy MA., MM. Shehata et Al. Allam. 1995 -** Free proline relation to salinity tolerance of three sugar beet varieties. *Egypt.J.Agric.R.*,73,(1),p.175189.
- **Hoagland DR., Arnon DJ. (1950):** The water culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Exp. Sta. Circ.* n° 347.
- **Hogarth P (1999)** *The Biology of Mangroves*. Oxford University Press, New York. ISBN 0198502230, pp 228.
- **Houérou, H.N. (1993).** Changements climatiques et désertisation. *Sécheresse* 4 (2) 95-111.

- **Huisman, J. et Van Der Poel, A. F. B.** 1994. Aspects of the nutritional quality and use of cool season food legumes in animal feed. P. 53-76. *In* : **Muehldauer, F. J. et Kaiser, W. J.** (Eds.) Expanding the production and use of cool season food legumes. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- **Iptribid. (2006):** Conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation. P2, 11.
- **Isci, S., F. S. Guner, O. I. Ece and N. Gungor** (2005). "Investigation of rheological and colloidal properties of bentonitic clay dispersion in the presence of a cationic surfactant" *Prog. Org. Coat.* 54, 28-33.
- **Iyengar E.R.R. and Reddy M.P., 1996-** photosynthesis in highly salt-tolerant plants. In:Pessarakli (ed), Handbook of photosynthesis, Marcel Dekker, New York, pp.897-909.
- **Jackson, D. I.; Lombard, P. B.** Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality- A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 1993, 44, 409-430.
- **Janek, M. and G. Lagaly,** "Interaction of a cationic surfactant with bentonite: A colloid chemistry study" *Colloid Polymer Sci.* 281, 293-301 (2003).
- **Joshi A. J., Mali B. S. and Hinglajia H.,** 2004 - Salt tolerance at germination and early growth of two forage grasses growing in marshy habitats. *Environ Exp Bot.* 2005; 54(3):267–274.
- **Jozja, N.,** (2003)"Etude 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.
- **Kamal, M.** 1981. The status of chickpea production and research in Morocco. Proceeding of workshop on *Ascochyta* blight and winter sowing of chickpea. (**Saxena, M. C. and Singh, K. B.** eds.). ICARDA, 4-7 May, Alep. Syrie.p. 247-257.
- **Ke, B.** 2001. Photosynthesis: Photobiochemistry and Photobiophysics. Kluwer, Dordrecht, the Netherlands.
- **Khajeh-hosseini; Powell M. A.A. and Bingham I.J.** - 2003. The interaction between salinity stress and seed vigor during germination of soybean seeds. *Seed Sci. & Technol*, 31: 715-725.
- **Khavari Nejad, R.A and Y. Mostofi,** (1998). Effects of NaCl on photosynthetic pigments, saccharids, and chloroplast ultrastructure in leaves of tomato cultivars. *Photosynthetica*.
- **Kicheva MI, Tsonev TD, Popova LD** (1994). Stomata and nonstomatal limitations to photosynthesis in two wheat cultivars subjected to water stress. *Photosyn.*, 30: 107-116.

- **Kinet JM, Benrebiha F, Bouzid S, Lailhacar S and Dutuit P.**, 1998 - Comment allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions semi arides et arides. Cah Agric, Vol.7, N°6, p.505 -509
- **Lauchli L et Epstein E.**, 1990 - Plant response to saline conditions. In Tanji KK (ed), Agricultural Salinity Assessment and Management, pp.113-137.
- **Lafon J.P., Tharaud –Prayer C., Levy G.**, 1996 – Biologie des Plantes Cultivées. Tome I. Org Phys De La Nutrition ; Ed. Lavoisier, P. 153-160. 165.
- **Lepluart. L.**, (2002); «Nanocomposites Epoxyde/amine/montmorillonite : Rôle des interactions sur la formation, la morphologie aux différents niveaux d'échelle et les propriétés mécaniques des réseaux» Thèse de doctorat de l'Institut de Lyon. France.
- **Levitt J.** (1980): Response of plants to environmental stresses. Volume II. Water, radiation, salt and other stresses. 2nd edn. Academic Press, London, UK.
- **Levigneron A, Lopez F, Vansuyt G, Berthomieu P, Fourcroy P, Casse-Delbart F.**,1995 - Les plantes face au stress salin. Cah. Agric. 4, p. 263–273.
- **Liu, P. H., Gan, Y., Warkentin, T. and McDonald, C.** 2003. Morphological plasticity of chickpea in a semiarid environment. Crop Sci. 43: 426–429.
- **Longstreth DJ et Nobel PS**, (1979) salinity effects on leaf anatomy. plant Physical .,63(4) :700-703
- **Luckham, P. F. and S. Rossi**, (1999) "Colloidal and rheological properties of bentonite suspensions" Adv. Colloid Interface Sci. 82, 43-92.
- **Mâalem S., Rahmoune C.** (2009): Toxicity of the Salt and Pericarp Inhibition on the Germination of Some *Atriplex* Species. American-Eurasian Journal of Toxicologic Sciences 1 (2): 43-49.
- **Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S., Janardhan Reddy K.** (2006): Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. P41-99.
- **Malhotra, R. S., Pundir, K. P. et Slinkard, A. E.** 1987. Genetic resources of chickpea. 11-34 *In* : **Saxena, M. C. et Singh, K. B.** Eds. The chickpea CAB International, Walling- Ford, U. K.
- **Martin-Prevel P., Gagnard J., Gautier P., Drouineau G.**, 1984 – Analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. Technique et Documentation-Lavoisier, p.161-179.
- **Martinez- Ballesta M.C., Martinez V. and Carvajal**, 2004 - Osmotic adjustment, water relations and gas exchange in pepper plants grown under NaCl or KCl. Environ. Exp. Bot., 52: 161-174.

- **Mayak S., Tirosh T., Glick BR** (2004) Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 42: 565-572
- **Melakhessou, Z.** 2007. Etude de la nuisibilité directe des adventices sur la culture de pois chiche d'hiver (*Cicer arietinum* L.) variété ILC 3279, cas de *Sinapis arvensis* L. . Thèse de Magister en sciences agronomiques. Univ. El-hadj Lakhdar de Batna. 72p.
- **Messedi D., Slama I., Laabidi N., Ghnaya T., Savoure A., Soltani., Abdelly C.** (2006): Effect of nitrogen deficiency, salinity and drought on proline metabolism in *Sesuvium portulacastrum*. *Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plants*. Pp. 65-72.
- **Mesaili, B.** 1995. Botanique : Systématique des spermaphytes. Ed. O. P. U (*Office des Publications Universitaires*). 91p.
- **Mezni H., Albouchi A., Bizid E., et Hamza M.,** 2002- Effet de la salinité des eaux d'irrigations sur la nutrition minéral chez trois variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa*). *Agronomie* 22. P283.291.
- **MISRA N. and Dwivedi U.N.,** 1995. Carbohydrate metabolism during seed germination and growth in green gram under saline stress. *J. Plant Physiol.*, 33(1): 33-38
- **Mitchell, J. K.,** *Fundamentals of Soil Behaviour*. J. Wiley & Sons, Toronto.( 1976).
- **Morsli B.** (2007): Etude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols : cas des zones côtières d'Alger Est. Acte des JSIRAUF
- **Munns R** (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ* 25: 239–250.
- **Munns R., Termaat A** (1986) Whole-plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 143-160.
- **Murillo-Amador; Lopez-Aguilar B. R., Kaya C., Larrinaga J.,** 2002 - Mayoral and A. Flores-Hernandez. Comparative effects of NaCl and polyethylene glycol on germination, emergence and seedling growth of cowpea. *J. Agronomy & Crop Science*, 188: 235-247.
- **Norrish, K. and Quirk, J. P.** (1954) crystalline swelling of montmorillonite--use of electrolytes to control swelling: *Nature* 173, 25%256.
- **Oliveira. L.P. B., Lucimauro. A .A., Egidio B. N., Mercia. V., Dos Santos.F., De Cassia.J.** 2006-Organic solutes in forage sorghum genotypes under saline stress. *Presq. Agropec, Bras, Brasilia*. V 41, n° 01, p 31-35.
- **Orcutt D.M. & Nilsen E.T.** (2000): *Physiology of plants under stress*. John Wiley & Sons Inc., New York, NY, USA.

- **Ortega U., Dunabeitia M., Menendez S., Gonzalez-murua & Majada J. (2004):** Effectiveness of mycorrhizal inoculation in the nursery on growth and water relations of *Pinus radiata* in different water regimes. *Tree physiology* 24: 65-73.
- **Osborne J.M., Fox J.E.D. and Mercer S., 1993 -** Germination response under elevated salinities of six semi-arid blue bush species (Western Australia). *In: Lieth H. & Al Masoom A.(Eds), Towards the Rational Use of High Salinity Plants, Vol. 1, pp. 323-338. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 521 pp.*
- **Parida A., Das A.B., Das P. (2002):** NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera arvilla*, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol.* 45, 28–36.
- **Parida A.K., Das A.B. (2005):** Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* Vol.60, pp. 324-349.
- **Pilon-Smits E (2005)** Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology* 56: 15-39.
- **Ploux, G., 1985.** Contribution à l'étude de la formation du rendement chez le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) : influence du génotype et du milieu. Thèse DEA. ENSAM (Montpellier).
- **Pons, C. H., "Mise en évidence des relations entre la texture et la structure dans les systèmes eau-smectites par diffusion aux petits angles du rayonnement synchrotron,"** Thèse de doctorat de L'Université d'Orléans (1980).
- **Pujol J. A., Calvo J. F., Diaz L. R., 1999 -** Recovery of germination from different osmotic conditions by four halophytes from southeastern Spain. *Ann Bot.* 2000; 85(2):279–286.
- **Rather G. 1984.** Sucrose and starch content of plant parts as possible indicators for salt tolerance. *Aust. J.Plant Physiol.* 11, 491-495.
- **Rao,G. G. and Rao,G. R.(1981).** Figemt composition and chlonophyllase activity in pigeon pea (*cajamas indicus spreng*) and yingelly (*sesamum indicum L.*) under nacl salinity. *Exp.biol.* 19: 768-770.
- **Rhoades, J. D. (1989):** Effects of salts on soils and plants. *Proceedings of Natural Water Conference. IR & WR Divs/ASCE. Newark, Delaware/ July 17-20. pp. 39-48*
- **Rhoades, J. D. and Loveday, J. (1990):** Salinity in irrigated agriculture. *In: Irrigation of Agicultural Crops. ASA-CSSA-SSSA. Agron. Monograph 30: 1089-1 142.*
- **Richards, L.A., (1954)** Diagnosis and improvements of saline and alkali soils. U.S. Salinity Laboratory DA, US Department of Agriculture Hbk 60, 160 pages.
- **Robert M. (1996).** Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Masson, Paris, p.241 Calvet (2003).

- Romero-Aranda R., Soria T. and Cuartero J.**, 2001-Tomato plant-water uptake and plant water relationships under saline growth conditions. *Plant Sciences*. 160, 265- 272.
- **Rush D.W. and Epstein E.**, 1981. Comparative studies on sodium, potassium and chloride relations of a wild halophytic and a domestic salt-sensitive tomato species. *Plant Physiol.*, 68: 1308-1313.
  - **Saxena, M. C.** 1990. Status of chickpea in the mediterranean basin. *CIHEAM- Options Méditerranéennes* n° 09 : 17-24.
  - **Saxena, M. C.** 1983. Agronomic studies on winter chickpea *Ascochyta* blight and winter sowing of chickpea. *Rev. World Crops* 9: 123-139.
  - **Saxena, M. C. and Singh, K. B.** eds. ICARDA, 4-7 May, Alep. Syrie.p. 247-257.
  - **Schachtman D.P. and Munns R.**, 1992. Sodium accumulation in leaves of *Triticum* species that differ in salt tolerance. *Aust. J. plant Physiol.* 19: 331-340.
  - **Schroeder,J.I., Allen,G.J.,Hugouvieux,V., Kwak,J.M., and Waner,D.**(2001). Division of Biology and Center for Molecular Genetics, University of California, San Diego, La Jolla 92093-0116, USA.
  - **Scott S.J., Jones R.A., Williams W.A.**, 1984. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop science*, 24(6): 1192-1199.
  - **Shabala S.** (2003). Regulation of potassium transport in leaves from molecular to tissue level. *Annals of Botany*, 92: 627-634.
  - **Shainberg, I. and J. Shalhevet, 1984.** Soil Salinity under Irrigation: Process and Management. Springer-Verlag, NY, USA.
  - **Seghairi, N.** (1998). Possibilités de rétention des matières organiques par adsorption sur la bentonite, Thèse de Magister en Sciences Hydrauliques, Université de Biskra, 134 p.
  - **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, No 2, pp. 555-560.
  - **Servant M. et Servant S.** (1970) - Les formations lacustres et les diatomées du Quaternaire récent du fond de la Cuvette tchadienne. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 2e sér., 12, 1.
  - **Servant J.** 1978. La salinité dans le sol et des eaux. Caractérisation et problèmes d'irrigation, drainage. *Bull. BRGM. Section III* (2) pp.123-142.
  - **Sigala, F.**, 1987.- Etude de l'influence du sodium apporté par une irrigation estivale sur l'évolution de la couche superficielle d'un sol argileux sous l'effet de la pluie. Thèse, Avignon.- 78 p.

- **Silva. J.V., DE Lacerda.F.C., DE Costa.A., Filho.P.H., Joaquim. E.G.,Tarquino.P.J.,** 2003-Physiological response of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl<sub>2</sub>.Brazilian Journal Of Plants Physiology .V15,n°02.londrina. doi:10,1590/S 1677-04202003000200005.
- **Singh, K. B.** 1987. Chickpea breeding. P. 127-162. *In* : **Saxena, M. C. et Singh, K. B.** Eds. The chickpea . CAB International, U. K.
- **Singh, K. B.** 1988. Winter chickpea: Problems and potential in the mediterranean region. In proceeding on present status production and improvement in the mediterranean countries. 11-13 July 1988, Zaragoza, Espagne.
- **Singh, K. B.**1997. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) .Field crops research, 53(1-3): 161- 170.
- **Singh, K. B. et Reddy, M. V.** 1990. Patterns of resistance and susceptibility to races of *Ascochyta rabiei* among germplasm accessions and breeding lines of chickpea. *Plant Disease* 74 : 127-129.
- **Singh P. S., P. Bhaglal, S. S. Bhullar,** 2000. Wheat germ agglutinin (WGA) gene expression and ABA accumulation in the developing embryos of wheat (*Triticum aestivum*) in response to drought, *Plant Growth Regul.*, 30, 145–150.
- **Singh, K. B., Saxena, M. C. et Agridley, H. E.** 1983. Screening chickpea for cold tolerance and frost resistance. *In* : *Workshop on Ascochyta blight and winter sowing of chickpea.* ICARDA, Alep, Syrie.
- **Slama F.,** 1986. Intervention des racines dans la sensibilité ou la tolérance à NaCl des plantes cultivées. *Agronomie*, 6 : 651-658.
- **Skrypetz, S.** 2004. Pois chiches : Situation et perspectives. Bulletin Bimensuel. Ed. DAM & DPS & DPC & AAC. Canada. 4p.
- **Skrypetz, S.** 2006. Pois chiches : Situation et perspectives. Bulletin Bimensuel. Ed. DAM & DPS & DPC & AAC. Canada. 4p.
- **Smithson, J.B., J.A. Thompson and R.J. Summerfield.** 1985. Chickpea (*Cicer arietinum* L.). p. 312-390. *In*: R.J. Summerfield and E.H. Roberts (eds.), *Grain Legume Crops.* Collins, London, UK.
- **Stitou M., et Gallez A.,** (1982) : Dessalage et desodification d'un sol marocain irrigué. ... Ilri, Wageningen, The Netherlands, 31 : 103-136.
- **Sumner M.E. (1993)** Sodic soils: New perspectives. *Australian Journal of Soil Research* 31: 683-750.

- **Szabolcs, I.** (1974), Salt-affected soils in Europe. Martinus Nijhoff - The Hague and Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences - Budapest. 63 pp + 2 maps.
- **Szabolcs, I.** (1979): Review of research on salt-affected soils. *Natural Resources. Res.* 15: 31-40 et 53-89.
- **Szabolcs, J.** 1989. Amelioration of soil in salt affected areas. *Soil Technology* 2:331-334.
- **Szabolcs I.**, (1994) - Soils and salinization. In: M Pessarakli (ed), *handbook of plant and crop stress*. Marcel Dekker, New York, pp3-11.
- **Tal M., Dehan k. and Heikin H.**, 1978. Salt tolerance in the wild relative of cultivated tomato. Responses of callus Tissue of *Lycopersicon esculentum*, *L. peruvianum* and *Solanum pennellii* to high salinity. *Z. pflanzenphysiol.* 86: 231-240 (Abstract).
- **Tadros, T. F.**, "Correlation of viscoelastic properties of stable and flocculated suspensions with their interparticle interactions" *Adv. Colloid Interface Sci.* 68, 97-200 (1996).
- **Tardieu F., Simmoneau T.** 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviors. *J. Exp. Bot.*, 49: 419–432.
- **Tisdal, S.L., W.L., Nelson and J.D. Beaton** (1985): *Soil fertility and fertilizers*. Edition. Macmillan publishing Company. New York.
- **Tobek, Li x.; Omasa k.**, 2002 - Effect of sodium magnesium and calcium salts on seed germination and radicle survival of a halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae). *Aust J Bot.* 50(2):163–169.
- **Ullah S.M., Gerzabek M.H. and Sonja G.**, 1994. Effect of seawater and soil salinity on onion uptake, yield and quality of tomato (Fruit). *Bodenkultur.*, 45(3): 227-237.
- **Ussli, Staff** (1954): *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali soils*. U.S.D.A. Handbook No.60. (Click! on Index Number for available HTML / PDF Version): (web version only).
- **Van Olphen, H.**, (1964) "Internal mutual flocculation in clay suspension" *J. Colloid Interf. Sci.* 19, 313-322.
- **Viégas RA, Melo ARB, Silveira JG** (1999) Nitrate reductase activity and proline accumulation in cashew (*Anacardium occidentale* L.) in response to salt (NaCl) shock. *Braz. J. Plant Physiol.* 11:21-28.
- **Viegas. R. A., Silveira Joaquim .A.G., Silva. M.** 2004- Assimilatory reduction in cashew plants grown in salinized medium. *Revue: Bras.Eng.Agric.Ambient.* V 8,n° 2-3, p 189-195.
- **Vincent, R.** (2006) Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *Laminaria digitata*. Thèse de doctorat. Biologie. Université de Rennes 1. 237pp.

- **Wakim J**, (2005) «Influence des solutions aqueuses sur le comportement mécanique des roches argileuses» Thèse doctorat de l'école nationale supérieure des mines de paris. France.
- **Wang Y., Nil N.** (2000). Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase–oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 75, 623–627.
- **Wang, W.X., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A.** (2001): Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Hort* 560: 285-292.
- **Wang W.X., Vinocur B., Altman A.** (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218, 1-14
- **Xue Z.; Zhi D.; Xue G.; Zhang H.; Zhao Y. and Xia G.**, 2004 - Enhanced salt tolerance of transgenic wheat (*Triticum aestivum* L.) expressing a vacuolar  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  antiporter gene with improved grain yields in saline soils in the field on a reduced level of leaf  $\text{Na}^+$ . *Plant Sci.*, 167: 849-859.
- **Yancey, P.H., M.E. Clark, S.C. Hand, R.D. Bowlus and G.N. Somero**, 1982. Living with water stress: Evolution of osmolyte systems. *Science*, 217: 1214–22.
- **Zhifang, G. and Loescher, W.H.** 2003. Expression of a celerymannose 6-phosphate reductase in *Arabidopsis thaliana* enhances salt tolerance and induces biosynthesis of both mannitol and a glucosyl-mannitol dimer. *Plant Cell Environ.*, 26: 275–283.
- **Zhu JK** (2002): Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annul. Rev. Plant Biol.* 53: 247- 273

# ANNEXES

## Annexes

### Annexe A -Calcul de la capacité de rétention (C1) pour 100g de sable

$$P1 = 100g$$

$$P2 = 124.4g$$

$$C1 = P2 - P1$$

$$C1 = 124.4 - 100 = 24.4g$$

Il faut enlever le poids du pot qui est de 4.4 g, soit le volume final de l'eau est de 20g. La capacité de rétention est de 20 ml pour 100g de sable.

### Calcul de la capacité de rétention (C2)

Pour 700 g de substrat

20 ml 100g de sable

C2 1000g de substrat

$$C2 = 20 * 700/100$$

$$C2 = 140 \text{ ml}$$

La capacité de rétention est de 200 ml pour 1000g de substrat

### Annexe B- Composition de la solution nutritive de Hoagland (1938)

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

### Annexe. C-Phosphate Buffer pH 7

1. Solution of monobasic sodium phosphate ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ) (13.9 g/1000 ml DDW)
2. Solution of dibasic sodium phosphate (26.825 g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  or 35.85 g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  in 1000 ml DDW)
3. Mix 39.0 ml solution A and 61.0 ml solution B, dilute to 200 ml

### Annexe. D- Réactif de Bradford

100 mg de bleu de coomassie G250 sont dissous dans 50 ml d'éthanol 95%. A cette solution on ajoute 100ml d'acide ortho phosphorique à 85 % puis le mélange est ajusté à 1000 ml avec l'eau distillée puis filtré pour enlever les particules insolubles.

### Annexe. E -Solution mère de bleu de Coomassie R250

Bleu de Coomassie R250	10 g
Ethanol 95°	1000 ml

**3. Le test de signification de Fisher ( $p < 0.05$ ) de la longueur, poids frais et sec, la teneur en eau, les sucres solubles totaux , teneur en chlorophylle, teneur en  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  et les protéines totales solubles entre les différents traitements selon le logiciel de Stat box**

#### 1-Longueur

a) Variable : tige

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1252,214	55				
VAR.FACTEUR 1	516,071	1	46,007	0		
VAR.FACTEUR 2	119	3	3,536	0,0213		
VAR.INTER F1*2	78,715	3	2,339	0,08399		
VAR.RESIDUELLE 1	538,429	48			3,349	17,46%

b) Variable : racine

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	8405,745	55				
VAR.FACTEUR 1	1425,111	1	12,241	0,00114		
VAR.FACTEUR 2	1288,406	3	3,689	0,01796		
VAR.INTER F1*2	103,87	3	0,297	0,82897		
VAR.RESIDUELLE 1	5588,358	48			10,79	42,93%

## 2-Poids frais

a) Variable : TIGE

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	218,786	55				
VAR.FACTEUR 1	156,579	1	224,318	0		
VAR.FACTEUR 2	20,584	3	9,83	0,00005		
VAR.INTER F1*2	8,118	3	3,877	0,0146		
VAR.RESIDUELLE 1	33,505	48			0,835	22,04%

b) Variable : RACINE

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	466,176	55				
VAR.FACTEUR 1	323,809	1	209,493	0		
VAR.FACTEUR 2	40,428	3	8,718	0,00012		
VAR.INTER F1*2	27,746	3	5,984	0,0016		
VAR.RESIDUELLE 1	74,193	48			1,243	25,90%

## 3-Poids sec

a) Variable : tige

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5,757	55				
VAR.FACTEUR 1	3,821	1	158,438	0		
VAR.FACTEUR 2	0,559	3	7,722	0,0003		
VAR.INTER F1*2	0,22	3	3,04	0,03733		
VAR.RESIDUELLE 1	1,157	48			0,155	24,09%

b) Variable : RACINE

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3,157	55				
VAR.FACTEUR 1	2,455	1	286,221	0		
VAR.FACTEUR 2	0,194	3	7,528	0,00036		
VAR.INTER F1*2	0,097	3	3,76	0,01659		

#### 4-Teneur en eau

a)Variable : tige

##### ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	266,863	47				
VAR.FACTEUR 1	19,968	1	4,15	0,04586		
VAR.FACTEUR 2	38,979	3	2,7	0,0576		
VAR.INTER F1*2	15,433	3	1,069	0,37386		
VAR.RESIDUELLE 1	192,482	40			2,194	2,66%
VAR.RESIDUELLE 1	0,412	48			0,093	23,81%

b)Variable : racine

##### ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	42,98	47				
VAR.FACTEUR 1	7,704	1	11,045	0,00202		
VAR.FACTEUR 2	2,637	3	1,26	0,30082		
VAR.INTER F1*2	4,738	3	2,264	0,09452		
VAR.RESIDUELLE 1	27,901	40			0,835	0,91%

#### 5-Teneur en chlorophylle

a)Variable : chl a

##### ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3972,798	23				
VAR.FACTEUR 1	1377,286	1	16,084	0,00107		
VAR.FACTEUR 2	1098,146	3	4,275	0,0213		
VAR.INTER F1*2	127,277	3	0,495	0,69367		
VAR.RESIDUELLE 1	1370,088	16			9,254	16,37%

b)Variable : chl b

##### ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2606,793	23				
VAR.FACTEUR 1	950,042	1	20,825	0,00036		
VAR.FACTEUR 2	871,38	3	6,367	0,00488		
VAR.INTER F1*2	55,445	3	0,405	0,75402		
VAR.RESIDUELLE 1	729,927	16			6,754	18,32%

c)Variable : chl a+b

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	11014,38	23				
VAR.FACTEUR 1	4615,109	1	32,263	0,00004		
VAR.FACTEUR 2	3853,955	3	8,981	0,00107		
VAR.INTER F1*2	256,595	3	0,598	0,62873		
VAR.RESIDUELLE 1	2288,723	16			11,96	12,80%

**6-Teneur en sucre totaux**

a)Variable : tige

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1478627	31				
VAR.FACTEUR 1	47790	1	1,002	0,32851		
VAR.FACTEUR 2	143162	3	1,001	0,41091		
VAR.INTER F1*2	143057	3	1	0,41123		
VAR.RESIDUELLE 1	1144618	24			218,386	543,72%

b)Variable : racine

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4,211	31				
VAR.FACTEUR 1	0,085	1	0,995	0,32974		
VAR.FACTEUR 2	1,611	3	6,289	0,00274		
VAR.INTER F1*2	0,465	3	1,814	0,17033		
VAR.RESIDUELLE 1	2,05	24			0,292	27,31%

**7-Teneur en protéine totaux**

a)Variable : tige

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,173	23				
VAR.FACTEUR 1	0,108	1	33,706	0,00004		
VAR.FACTEUR 2	0,002	3	0,249	0,86135		
VAR.INTER F1*2	0,012	3	1,272	0,31784		

b) Variable : racine

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5675,023	31				
VAR.FACTEUR 1	3414,474	1	90,4	0		
VAR.FACTEUR 2	874,982	3	7,722	0,00094		
VAR.INTER F1*2	479,073	3	4,228	0,01552		
VAR.RESIDUELLE 1	906,494	24			6,146	22,33%
VAR.RESIDUELLE 1	0,051	16			0,056	11,51%

b) Variable : racine

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,022	23				
VAR.FACTEUR 1	0,012	1	70,105	0		
VAR.FACTEUR 2	0,002	3	4,543	0,01736		
VAR.INTER F1*2	0,005	3	9,859	0,00069		
VAR.RESIDUELLE 1	0,003	16			0,013	6,03%

**8-Teneur en Na+**

a) Variable : tige

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4977,129	31				
VAR.FACTEUR 1	3127,613	1	56,165	0		
VAR.FACTEUR 2	373,063	3	2,233	0,10918		
VAR.INTER F1*2	139,984	3	0,838	0,48872		
VAR.RESIDUELLE 1	1336,469	24			7,462	30,69%

b) Variable : racine

c) Variable : T+R

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	16994,56	31				
VAR.FACTEUR 1	13077,89	1	168,964	0		
VAR.FACTEUR 2	1854,195	3	7,985	0,00078		
VAR.INTER F1*2	204,864	3	0,882	0,4663		
VAR.RESIDUELLE 1	1857,61	24			8,798	16,97%

### 9-Teneur en K<sup>+</sup>

a)Variable : tige

#### ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	7915,408	31				
VAR.FACTEUR 1	2122,915	1	13,714	0,00119		
VAR.FACTEUR 2	2002,283	3	4,312	0,01439		
VAR.INTER F1*2	75,152	3	0,162	0,92047		
VAR.RESIDUELLE 1	3715,058	24			12,442	16,84%

b)Variable : racine

#### ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5179,734	31				
VAR.FACTEUR 1	71,76	1	0,533	0,47883		
VAR.FACTEUR 2	1029,029	3	2,546	0,07886		
VAR.INTER F1*2	846,032	3	2,094	0,12647		
VAR.RESIDUELLE 1	3232,913	24			11,606	18,70%

c)Variable : T+R

#### ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	17297,65	31				
VAR.FACTEUR 1	2975,285	1	9,712	0,00468		
VAR.FACTEUR 2	5798,553	3	6,309	0,00269		
VAR INTER F1*2	1171,434	3	1,275	0,30548		
VAR.RESIDUELLE 1	7352,383	24			17,503	12,87%

## RÉSUMÉ

La salinité est généralement perçue comme un problème important en Algérie, particulièrement dans les régions arides et semi-arides où l'augmentation de la concentration du sel conduit à la réduction du développement de la production agricole. L'une des méthodes utilisées traditionnellement pour atténuer les effets néfastes de la salinité sur les cultures consiste à ajouter aux sols sableux contaminés par la salinité une argile à grand pouvoir d'hydratation.

Dans le présent travail, la bentonite de Mostaganem est ajoutée à 7 % du poids de sol sec à un substrat sableux. Le mélange ainsi obtenu est utilisé pour la culture d'une variété de pois chiche (*Cicer arietinum*) appelée ILC3279 soumise à un stress salin à l'aide d'une solution de NaCl avec 4 concentrations (0, 50, 100 et 200 meq.l<sup>-1</sup>). L'étude du comportement écophysiochimique et biochimique de la culture stressée par la salinité dans le substrat sableux initial et celui amendé par la bentonite montre que l'absorption du Na<sup>+</sup> par les graines du pois chiche provoque des effets toxiques sur leur germination. Les effets combinés de salinité et de la bentonite ce sont manifestés par une double réduction de la croissance à travers les paramètres étudiés (poids frais et sec, teneur en eau, teneur en chlorophylle a et b et teneur en protéines totales libres). Par contre, nous avons observés une augmentation en teneur en sucres solubles totaux. L'un des résultats importants de cette étude est l'effet favorable obtenu avec la concentration saline de 50 meq.l<sup>-1</sup> en NaCl sur les paramètres étudiés pour lesquels les données montrent une amélioration par rapport aux plants témoins de la culture. En plus des résultats obtenus, cette étude a permis d'appréhender les bases scientifiques qui contribuent à expliquer les effets d'une argile utilisée traditionnellement pour améliorer les propriétés physiques de sols soumis aux contraintes abiotiques de sécheresse et de salinité en zones arides et semi arides

**Mots clés :** Bentonite, salinité, pois chiche, absorption, germination, *Cicer arietinum*.

## ABSTRACT

Salinity is widely perceived as a major problem in Algeria, particularly in arid and semi-arid areas where the increase in salt concentration led to a reduction in the development of agricultural production. One of the methods traditionally used to mitigate the adverse effects of salinity on crops is to be added to sandy soils contaminated with salinity a great power of clay hydration.

In this work, Mostaganem bentonite is added to 7% by weight of dry soil with a sandy substrate. The resulting mixture is used for the cultivation of a variety of chickpea (*Cicer aréitinum*) called ILC3279 subjected to salt stress with NaCl solution with four concentrations (0, 50, 100 and 200 meq. l-1).

The study of ecophysiological and biochemical behavior of culture stressed by salinity in the sandy substrate and the initial amended by the bentonite shows that Na + absorption by seeds of chickpea caused toxic effects on germination. The combined effects of salinity and bentonite are shown by a double reduction in growth across the studied parameters (fresh and dry weight, water content, chlorophyll a and b and total protein content free). By cons, we observed an increase in total soluble sugar content.

One of the important results of this study is the favorable effect obtained with the salt concentration of 50 meq.l<sup>-1</sup> NaCl on the parameters studied for which the data show an improvement over the control plants of the crop. In addition to the results, this study to understand the scientific foundations that help explain the effects of clay traditionally used to improve the physical properties of soils subjected to abiotic stresses of drought and salinity in arid and semi arid.

**Keywords:** Bentonite, salinity, absorption, germination, *Cicer arietinum*.

## ملخص

تشكل الملوحة خطراً حقيقياً في الجزائر لا سيما في المناطق الجافة وشبه الجافة حيث الزيادة في تركيز الملح يؤدي إلى انخفاض في تطوير الإنتاج الزراعي. لمواجهة هذه المشكلة الخطيرة للملوحة، وضع إستراتيجية تتطوي على استغلال الموارد الطبيعية مثل البنتونيت. بحيث يجب الأخذ بعين الاعتبار أن وجوده يمكن في تحسين نوعية المياه والتربة المالحة. هذا البنتونيت لديه خاصية القدرة على امتزاز بعض الكاتيونات والأنيونات على سطحها والحفاظ على إبقاء صرف هذه التبادلات. تمت دراسة على نوع من الحمص بمعالجة البنتونيت ممزوجة بكلوريد الصوديوم. أظهرت النتائج المحصل عليها أن امتصاص الصوديوم بواسطة البذور يسبب آثار سامة على إنبات بذور الحمص. إضافة البنتونيت بجرعة 7 % مع عدم وجود الملح أدى إلى تقاوم الأعراض الورقية. وتجلت تأثير دمج الملوحة والبنتونيت بانخفاض مزدوج في النمو، وتخفيض في جميع المعايير (الوزن الطازج، الوزن الجاف، المحتوى المائي، ومحتوى الكلوروفيل ألف وباء والبروتينات). غير أنه لوحظ زيادة في إجمالي محتوى السكر.

في غياب البنتونيت، تعرض نباتات الحمص لكلوريد الصوديوم تجلتي من خلال النقص في نمو النبات، ولكن مع محتوى البروتين أظهر زيادة كبيرة مجاناً. ومع ذلك تراكم (المحتوى المائي، الوزن الطازج، الوزن الجاف، الكلوروفيل أ و ب، مجموع محتوى السكر وإجمالي البروتين) أظهر نسب أعلى في حضور البنتونيت و الملوحة بجرعة 50 ميلي مكافئ من كلوريد الصوديوم. نبات الحمص عبر عن شدة تحمله للملوحة بتخزينه مزيد من الصوديوم في الجذور والبيوتاسيوم في الأوراق.

**الكلمات المفتاحية :** البنتونيت، الملوحة، الاستيعاب، الإنبات، الحمص.