

سنتغنام

كلية علوم الطبيعة و الحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



قسم البيولوجي Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Magister en biologie
Option
«Science du Sol et Environnement»
Par
Mr. NOURI Tayeb

Intitulé :

La réponse de la fève *Vicia faba* L. au stress salin, cas d'un sol sableux amendé en bentonite.

Laboratoire de la biodiversité et conservation des eaux et des sols, université de Mostaganem.

Devant le jury composé de :

Nom et prénom	Grade	Qualité	Appartenance administrative
Djibaoui Rachid	MCA	Président	U. Ibn Badis Mostaganem
Belkhodja Moulay	Pr	Examineur1	Univ. Es-Senia-Oran
Mekhaldi Abdekader	MCA	Examineur2	U. Ibn Badis Mostaganem
Reguieg Yssad Houcine A. H	MCA	Encadreur	U. Ibn Badis Mostaganem
Bessafi Laid	MAA	Co-Encadreur	U. Ibn Badis Mostaganem

Année universitaire : 2011- 2012

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.

Je remercie tout d'abord mon Encadrant REGUIEG YSSAD. HA Maître de conférences à l'Université de Mostaganem et responsable de la poste graduation de la promotion de science des sols et environnement, pour la confiance, ses critiques constructives, 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.

Ce mémoire a été réalisé au laboratoire d'Écophysiologie végétale, Université de Es-Seina, Oran, Algérie dirigé par le professeur messieurs 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 jurer de ce travail. Qu'il trouve ici ma profonde gratitude.

Mes plus vifs remerciements vont à monsieur BESSAFI Laid enseignant à l'université D'Abad Hamid Iben Badis Mostaganem et coopromoteur de ce modeste travail pour son soutien.

*J'*exprime également ma reconnaissance au docteur DJIBAOUI Rachid Maître de conférences à l'Université de Mostaganem. D'avoir bien voulu apporter sa contribution pour présider les jurys de ce travail

Mes plus vifs remerciements vont à MEKHALDI Abdelkader maître de conférences à l'université d'Abad Hamid Iben Badis Mostaganem d'avoir eu d'accepter l'amabilité d'accepter de jurer de ce travail.

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 .

Une profonde gratitude au groupe de laboratoire de recherche de l'université de Mascara pour la réception et de m'avoir facilité mon intégration au sein de son équipe

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ma mère ma source de tendresse et de courage.

A mon père et que dieu le protège, mes frères, ma sœur, mes oncles et toute la famille Nouri.

A mes amis du magister promotion 2011 : Djoudi .A, Benouiss.S, Ouaini .A, Bouziani.H, Ouanouki. M, Azouzi.F.

A mes collègues de travail à la subdivision agricole de Brezina wilaya d'El Bayadh chacun son nom.

A mes amis qui font mon équilibre, pour leur présence dans ma vie.

A tous ce qui est connaît et aime Tayeb de prés et de loïn.

Nouri tayeb

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n° 1 Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite de Mostaganem.

Tableau 2. : Composition chimique (en %) de bentonite de Mostaganem.

Tableau 3 : Caractéristiques minéralogiques de la bentonite.

Tableau 4 : - Accroissement du rendement par l'application de la bentonite.

Tableau .5 Poids sec de bentonite en grammes par rapport au pourcentage de la dose de bentonite retenue.

Tableau .6 Caractéristiques de la serre automatisée de l'université d'Oran.

Tableau 7: Composition chimique de la solution Hoagland.

Tableau .8 Composition de la solution saline.

Tableau .9 Dispositif expérimental adopté à la serre.

Tableau 10 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur en proline selon l'intensité du stress salin et différentes doses de bentonite de la variété *Semilla violeta* L dans la partie aérienne (PA) et souterraine (PS).

Tableau. 11 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur en proline selon l'intensité du stress salin et différentes doses de bentonite de la variété *Reine mora* L de la partie aérienne (PA) et souterraine(PS).

Tableau. 12 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur relative en eau (RWC) en % de la variété *Semilla violeta* L stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Tableau .13 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur relative en eau (RWC) en % de la variété *Reine mora* L. stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Tableau .14 Test statistique de signification de Student (P= 5%) du déficit hydrique en (%) de la variété *Semilla violeta* L. stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Tableau .15 Test statistique de signification de Student (P= 5%) du déficit hydrique en (%) du variété *Rein mora* L. stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Tableau .16 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur en sodium (ppm) dans les parties aérienne (PA) et dans les racines (PS) des plantes de la variété *Semilla violeta* L. stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Tableau. 17 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur en sodium (ppm) de la partie aérienne et des racines des plantes de la variété *Reine mora* L. stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Tableau. 18 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur en potassium (K^+) dans les parties aériennes et les racines des plantes de la variété *Semilla violeta* L. stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Tableau .19 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur en potassium (K^+) dans les parties aériennes et des racines des plantes de la variété *Reine mora* L. stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

.LISTE DES FIGURES

Figure.1 : Tolérance des plantes glycophytes et hallophytes à la salinité

Figure. 2 : Régulation et compartimentation ionique.

Figure. 3 : Rôle de l'acide abscéscique dans la réponse au stress salin.

Figure.4 : Représentation schématique d'un feuillet de phyllosilicates 2:1.

Figure. 5 : Le protocole de travail expérimental.

Figure. 6 : Taux de germination (%) de deux variétés de fève dans un substrat sableux amendé en bentonite.

Figure.7 : Durée de germination (Jours) de deux variétés de fève dans un substrat sableux amendé en bentonite.

Figure. 8: Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur en proline dans les parties aérienne (a) et souterraine (b) de la variété *Semilla violeta* L.

Figure.9: Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur en proline dans la partie aérienne et souterraine de la variété *Reine mora* L.

Figure.10 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur relative en eau de la variété *Semilla violeta* L.

Figure.11 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur relative en eau de la variété *Reine mora* L.

Figure.12 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur le déficit en eau (DH) de la variété *Semilla violeta* L.

Figure.13 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur le déficit en eau (DH) de la variété *Reine mora* L.

Figure.14: Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur en sodium (ppm) dans les parties aérienne (a) et souterraine (b) de la variété *Semilla violeta* L.

Figure.15 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur en sodium (ppm) dans les parties aérienne (a) et souterraine (b) de la variété *Reine mora* L.

Figure.16 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur en potassium (ppm) dans les parties aérienne (a) et souterraine (b) de la variété *Semilla violeta* L.

Figure.17: Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur en potassium (ppm) dans les parties aérienne (a) et souterraine (b) de la variété *Reine mora* L.

Figure.18 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur le rapport K^+/Na^+ dans les parties aérienne (a) et souterraine (b) de la variété *Semilla violeta* L.

Figure.19 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur le rapport K^+/Na^+ dans les parties aérienne (a) et souterraine (b) de la variété *Reine mora* L.

Figure.20 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur l'évolution de l'indice de tolérance de la variété de *Semilla violeta* L.

Figure.21 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur l'évolution de l'indice de tolérance de la variété de *Reine mora* L.

LISTE DES PHOTO

Photo.1-différents organes de la fève *vicia faba* L.

Photo. 2 : Méthode de préparation des sables.

Photo. 3- Les graines de deux variétés de *Vicia faba* L.

Photo. 4: La serre automatisée de l'université d'Oran.

Photo. 5 : Dispositif expérimental adopté à la serre de deux variétés de la fève *Vicia faba* L.

Photo. 6 : développement de la coloration en fonction de teneur en proline.

Photo.7 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la morphologie de *Semella violeta* L (a) et *Reine mora* L (b).

Photo.8: Symptomologie de l'effet combiné de la salinité (60 Mmol.L^{-1}) et de la bentonite (10 %) sur les feuilles de *Reine mora* L.

LISTE DES ABREVIATIONS

%	: Pour cent
°C	: Degré Celsius
C.E.C	: Capacité d'échange cationique
Ca ⁺⁺	: Calcium
CaCl ₂	: Chlorures de calcium
Cl ⁻	: chlore
cm	: Centimètre
CO ₂	: Dioxyde de carbone
CO ₃ ⁻	: Carbonate
FAO	: Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
Fig.	: Figure
g	: Gramme
H	: Heure
HNO ₃	: Acide Nitrique
INRA	: institut national des recherches agronomiques.
K ⁺	: ion de potassium
KCl	: Chlorure de potassium
Km	: Kilomètre
l	: Litre
M mho/cm	: Millimhos par centimètre.
m ³	: Mètre cube
Meq	: Milliéquivalent
Mg ⁺⁺	: Magnésium
MgCl ₂	: Chlorure de magnésium
ml	: Millilitre
mm	: Millimètre
mM	: Millimhos
mMol.L ⁻¹	: Mili Mol par litre
N	: Normalité
Na ⁺	: ion de sodium
NaCl	: chlorure de sodium
NO ₃ ⁻	: Nitrate
O ₂	: Oxygène
P	: Phosphore
ppm	: Particule par million
r	: Coefficient de corrélation de Pearson
RFU	: Réserve facilement utilisable.
RWC	: Teneur relative en eau
SO ₄ ⁻²	: Sulfate
T°	: Temperature -
USDA	: United state department agronomic

- * Sommaire * -

INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I :Stress salin	5
I.1 Généralité sur les différents types de stress	5
I.1.1 Stress thermique.....	5
I.1.2. Stress hydrique.....	6
I.1.3. Stress ionique.....	7
I.1.4. Stress salin	8
I.1.4-1 Salinisation	8
I.1.4-1-1 Salinisation primaire	9
I.1.4-1-2 Salinisation secondaire.....	9
I.1.4-1-3 Cause et effet de la salinisation	10
I.1.4-1-4 Rapport entre la salinité du sol et celle de l'eau d'irrigation.....	10
I.1.5 Effet de salinité sur les plantes	10
I.1.5-1 Action de sel sur la croissance et le développement.....	11
I.1.5-2 Impacts de la salinité sur l'eau dans la plante	11
I.1.5-3 Sur l'anatomie des feuilles	12
I.1.5-4 Sur la photosynthèse.....	12
I.1.5-5 Sur les lipides	12
I.1.5-6 Sur l'absorption minérale	13
I.1.5-7 Effet de la salinité sur les enzymes antioxydants	13
I.1.5-8 Effet de la salinité sur les glycophytes et les halophytes.....	14
I.1.6-Tolérance des plantes à la salinité	15
I.1.6-1 Régulation ionique et compartimentation.....	15
I.1.6-2 Accumulation de proline	16
I.1.6-4 Autres modes de tolérance à la salinité	17
I.1.6-5 Mécanisme de tolérance vis-à-vis la salinité	18
L'exclusion	18
L'inclusion.....	18
CHAPITRE II : LA BENTONITE.....	21
II-1 Définition et historique	21
II-2 Structure de la bentonite.....	21
II-3 Types de bentonite	22
II-3-1 La bentonite calcique	22
II-3-2 La bentonite sodique (gonflante et active naturellement).....	22
II-4 Caractérisation physico-chimique de la bentonite de Mostaganem	22
II-5 Domaine d'utilisation.....	23

-* Sommaire *-

II-6 Bentonite en agriculture	24
CHAPITRE III : La fève <i>Vicia faba</i> L	27
III.1 Origine et classification.....	27
III.1.1 Origine et répartition géographique et écologie	27
III.1.2 Classification systématique	27
III.2 Aspect et particularités.....	28
III.3 Exigences de la plante.....	28
III.3.1 Exigences édaphiques	28
III.3.2 Exigences climatiques.....	29
III.4 Caryotype et cycle cellulaire.....	29
III.5 Intérêt écotoxicologique.....	29
III.7 Intérêt économique.....	30
III.8 Valeur nutritive de la fève.....	30

DEUXIEME PARTIE : EXPERIMENTATION

CHAPITRE IV : Matériels et méthodes

IV.1 Matériels sol.....	33
IV.1.1 Préparation de substrat de culture	33
IV.2 Matériel végétal	34
IV.2.1. Choix de l'espèce végétale.....	34
IV.3. Conduite de l'essai.....	35
IV.3.1. Le semis	35
IV.3.2. L'arrosage	36
IV.4. Paramètres mesurés.....	39
IV.4.1. Taux et la durée de germination de deux variétés de <i>Vicia faba</i> L.....	39
IV.4.2 Mesures physiologiques.....	39
IV.4.2.1Extraction et dosage de la proline	39
a) Extraction.....	39
b) Dosage	39
IV.4.3.Paramètres hydriques	40
IV.4.3.1. Teneur en eau relative	40
IV.4.4. Extraction et dosage chimique de la plante.....	40
IV.4.4.1. Extraction des éléments minéraux de la plante	40
IV.4.4.2 Dosage des éléments minéraux de la plante.....	41
a) Dosage du sodium et du potassium par le spectrophotomètre à flamme	41
b) Le sodium	41
c) Le potassium	41
IV.4.5-Indice de tolérance.....	41
IV.4.6 Analyse statistique	42

-* Sommaire *-

CHAPITRE V : RESUTATS ET DISCUSSION

V-1 Effet de la bentonite sur la germination.....	45
V-1-1 Taux de germination.....	45
a) Variété <i>Semilla violeta</i> L.....	45
b) Variété <i>Reine mora</i> L.....	45
V-1-2 Durée de germination	46
a) Variété <i>Semilla violeta</i> L.....	46
b) Variété <i>Reine mora</i> L.....	46
c) Discussion.....	46
V-2 Paramètre physiologique	48
V-2-1 Teneur en proline.....	48
a) Variété <i>Semilla violeta</i> L.....	48
• Sans traitement à la bentonite.....	48
• 3% de bentonite	48
• À 5% de bentonite	48
• À 7% de bentonite	49
• À 10% de bentonite	49
b) Variété <i>Reine mora</i> L.....	50
• Sans traitement à la bentonite.....	50
• À 3% de bentonite.....	50
• À 5% de bentonite	51
• À 7% de bentonite	51
• À 10% de bentonite	52
c) Discussion.....	53
V.3.Paramètres hydriques	55
V-3-1 Teneur en eau relative (RWC).....	55
a) Variété <i>Semilla violeta</i> L.....	55
• Sans traitement à la bentonite.....	55
• À 3% de bentonite	55
• À 5% de bentonite	55
• À 7% de bentonite	56
• À 10% de bentonite	56
b) Variété <i>Reine mora</i> L.....	57
• Sans traitement à la bentonite.....	57
• À 3% de bentonite	57
• À 5% de bentonite	58
• À 7% de bentonite	58

-* Sommaire *-

• À 10 % de bentonite	58
V-3-2 Déficit hydrique	60
a) Variété <i>Semilla violeta</i> L.....	60
• Sans traitement à la bentonite :	60
• À 3 % de bentonite	60
• À 5 % de bentonite	60
• À 7 % de bentonite	61
• À 10 % de bentonite	61
b) Variété <i>Reine mora</i> L.....	62
• Sans traitement à la bentonite :	62
• À 3 % de bentonite	62
• À 5 % de bentonite	63
• À 7 % de bentonite	63
• À 10 % de bentonite	63
c) Discussion	65
V.4 Paramètres chimiques.....	68
V-4-1 Bilan minéral du sodium et du potassium dans la plante (Partie aérienne et racines)	68
A-Teneur en sodium.....	68
A-1 Variété <i>Semilla violeta</i> L.	68
• Sans traitement à la bentonite	68
• À 3% de bentonite	68
• À 5% de bentonite	69
• À 7% de bentonite	69
• À 10% de bentonite	69
A-2 Variété <i>Reine mora</i> L.....	71
• Sans traitement à la bentonite :	71
• À 3% de bentonite	72
• À 5% de bentonite	72
• À 7% de bentonite	72
• À 10% de bentonite	73
B-Teneur en potassium	74
B-1 Variété <i>Semilla violeta</i> L.....	74
• Sans traitement à la bentonite	74
• À 3% de bentonite	75
• À 5% de bentonite	75
• À 7% de bentonite	75

-* Sommaire *-

• À 10% de bentonite	76
B-2 Variété <i>Reine mora</i> L.	77
• Sans traitement à la bentonite	77
• À 3% de bentonite	77
• À 5% de bentonite	78
• À 7% de bentonite	78
• À 10% de bentonite	78
C-Etude du ratio K^+/Na^+ selon les organes de la plante	80
C-1 Variété <i>Semilla violeta</i> L.	80
C-2. Variété <i>Reine mora</i> L.	81
c) Discussion	82
V-5 Indice de tolérance	84
a)Variété <i>Semilla violeta</i> L.	84
b) Variété <i>Reine mora</i> L.	84
c) Discussion	85
DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE.....	87
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....
Annexes

Introduction générale

INTRODUCTION

Les terres arides et semi arides représentent un tiers de la surface du globe. Dans ces zones, la salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des facteurs limitant de la productivité végétale et du rendement agricole (Djerroudi *et al.*, 2010).

La réponse au sel des espèces végétales dépend de l'espèce même, de sa variété, de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante. L'identification des variétés tolérantes aux sels permettrait certainement d'améliorer la production des zones à risque ou irriguées à l'eau saumâtre et présenterait un intérêt évident dans l'optique d'aide à l'amélioration variétale (Braudeau, 1998).

En Algérie les connaissances insuffisantes actuelles dans le domaine de la salinité ne permettent pas de mener des actions de mise en valeur des sols salés. Dans ces conditions, la réhabilitation de ces sols exige la mise en œuvre de stratégies d'études pluridisciplinaires pour réunir de nouvelles données afin de mieux comprendre les réponses des plantes sous cette contrainte (Belkhodja, 2000). L'Algérie possède de vastes sols salés s'étalant autour de 3.2 millions hectares (Hamdy, 1999). Elle connaît, actuellement une évolution écologique irréversible caractérisée par un passage du régime semi aride à aride couvrant de grandes surfaces (Mederbal, 2000; Belkhodja et Bidai, 2004).

Pour une agriculture durable il sera plus avantageux d'opter pour une gestion rationnelle des terres cultivées basées sur une connaissance profonde des interactions biologiques et en utilisant des ressources naturelles disponibles. C'est dans cette perspective que s'intègre l'action de mise en valeur des sols cultivés en introduisant la bentonite riche en argile. Cette action conduira à l'augmentation de la capacité d'échange cationique (Petr, 1985 ; Dejoui., 1987). D'autres auteurs assurent que l'apport de la bentonite dans les sols sableux améliore ces propriétés physiques et hydriques (Benkhelifa et Daoud., 1998 ; Halilat et Tessier., 2006). L'addition de l'argile constitue une alternative afin d'améliorer le potentiel agricole du matériau sableux, ce qui permettrait d'augmenter à la fois leur réserve en eau et leur capacité à retenir les éléments minéraux (Halilat et Tessier., 2006).

Afin de mieux comprendre les stratégies des plantes mises en jeu lors du stress salin, notre étude repose sur l'influence de l'interaction de la bentonite et de la salinité sur la réponse biochimique et minérale et physiologique de deux variétés de la fève *Vicia faba* L.

La première partie de notre travail aborde une revue bibliographique synthétisant les données relatives aux stress abiotiques et les propriétés physico-chimiques de la bentonite et un aperçu bibliographique sur la fève *Vicia faba* L. Dans la seconde partie, nous décrivons la méthodologie adoptée dans notre expérimentation. La troisième partie concerne les résultats obtenus sur la réponse des plantes à travers l'accumulation de la proline, la teneur en relative et les variations minérales sous l'effet combiné de la salinité et de la bentonite.

Première partie

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Stress salin

I. Stress salin

I.1 Généralité sur les différents types de stress

La salinité est définie comme étant le processus pédologique suivant lequel, le sol s'enrichit anormalement en sels solubles acquérant le caractère salin. Ainsi, on appelle sols salés ceux qui sont caractérisés par la présence d'un excès en sels solubles dans le profil (Da Silva, 1982 *in* Lemzer, 2007). La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (Bouaouina, 2000 ; Pessaraki, 2011).

Selon Aubert, 1975 *in* Salha, 2010 les sols sodiques également appelés sols salés ou sols halomorphes sont caractérisés par la teneur élevée en sels solubles, répartis sur l'ensemble ou dans une partie du profil. En particulier l'influence de l'ion sodium se traduit par la dégradation de la structure de l'un des horizons, ce qui provoque la formation d'une croûte à la surface du sol ; de nature poudreuse et le sol est alors colonisé par une végétation halophyte.

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par ailleurs, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et variété) (Hopkins, 2003). Les différents stress environnementaux que confrontent les plantes sont :

- le stress thermique : liés aux températures extrêmes (froid, gel, chaleur) ;
- le stress hydrique : par un déficit ou un excès d'eau ;
- Stress ionique ;
- la salinité.

Les végétaux dans les zones arides et semi-arides sont soumis en particulier à des stress abiotiques (Hopkins, 2003).

I.1.1 Stress thermique

Dans lequel on distingue les basses températures, gélives ou non gélives, et les hautes températures. En réalité les contraintes environnementales subies par la plante associent le plus souvent, plusieurs types de stress (Lu *et al*, 2003) : la salinité par exemple, comprend des stress ioniques (toxicité des ions Na⁺ et Cl⁻) et osmotique ; la sécheresse quant à elle, recouvre souvent à la fois des stress thermiques et hydriques (ces derniers induisant des stress ioniques) (Belhassen *et al*, 1995). Les plantes sensibles

au froid réagissent négativement entre 0 et 12°C (Mazliak, 1995), ainsi cette baisse de la température entraîne des ralentissements de la croissance, de chlorose, de nécrose, voire même une destruction des végétaux exposés (Belhassen *et al*, 1995). Les hautes températures sont permises les facteurs les plus importants intervenant dans la limitation des rendements. Elles affectent fortement les organes floraux, la formation des fruits, ainsi que le fonctionnement de l'appareil photosynthétique (El Madidi et Zivy., 1993).

I.1.2. Stress hydrique

Le stress hydrique lié aux humidités relatives du sol et de l'air. Les stress hydriques du sol doivent être décomposés en déficit hydrique et l'excès d'eau entraînant l'asphyxie. Les stress hydriques de l'atmosphère définis comme des réductions de l'humidité relative de l'air, entraînent des modifications du pouvoir évaporant et de la transpiration foliaire. L'eau joue un rôle dominant sur les phénomènes de croissance et de développement. Un stress hydrique, peut limiter ainsi la croissance des végétaux, en modifiant le bilan entre la disponibilité et les besoins (Bezzala, 2005). Il induit, chez les plantes stressées, une diminution du contenu relatif en eau et une réduction significative de la production de biomasse totale (Kramer, 1980 ; Albouchi *et al*, 2000) concomitante à une réduction de la croissance en diamètre et en hauteur des tiges (Van Hees, 1997; Aussenac *et al*, 1984 ; Thomas et Gausling, 2000). De même, le manque d'eau affecte la distribution de la biomasse chez les plantes stressées (Ledig, 1981), liée à la complémentarité des fonctions de croissance des parties racinaire et aérienne. Souvent, la réponse d'une plante soumise à un assèchement du sol se traduit par une allocation préférentielle de biomasse vers les racines exprimée par une augmentation du rapport en matière sèche entre la partie souterraine et la partie aérienne (Albouchi *et al*, 2003). Les dégâts produits par le stress hydrique se manifestent par une chlorose, des phénomènes de sénescence, l'abscission des feuilles de la base et le flétrissement. Les feuilles nouvellement formées montrent une réduction de leur surface (De Baeke *et al*, 1996).

En situation de déficit hydrique, la plante ferme ses stomates pour réduire ses pertes en eau (Tardieu et Dreyer, 1997). Cette fermeture va entraîner des modifications physiologiques, morphologiques et phénologiques. L'entrée du CO₂ est également verrouillée lors de cette fermeture, entraînant une perturbation de l'activité photosynthétique. La fermeture emprisonne une bonne part de l'énergie destinée à être dissipée par transpiration, ce qui a pour conséquence l'augmentation de la température foliaire. Le stress hydrique a ainsi un effet direct sur la température de la végétation.

Selon son intensité et son apparition dans le développement de la plante, le stress hydrique peut entraîner ou non une perte de qualité et de rendement dans la production agricole par la modification de la mise en place des capteurs photosynthétiques, la répartition des assimilats entre les différents organes (tiges, feuilles et graines), et l'accumulation des composés majeurs (lipides, protéines, glucides) (INRA, 2002).

Les paramètres biophysiques et physiologiques de la plante (photosynthèse, conductance stomatique, teneur en chlorophylle, potentiel hydrique, etc.), du fait de leur relation avec le statut hydrique de celle-ci, peuvent être utilisés comme des indicateurs de son état hydrique (Slama *et al.*, 2005).

I.1.3. Stress ionique

Le stress ionique est attribuable au rapport (K^+) / (Na^+) échangeable et la concentration du sodium (Na^+) qui sont néfastes aux plantes. La toxicité du sodium ionique (Na^+) peut être manifestée dans l'apoplaste cellulaire dû à son déplacement ou substitution par le calcium (Ca^{2+}), comme ils ont un rayon ionique semblable de 0.097 nm et 0.099 nm pour respectivement le sodium (Na^+) et le calcium (Ca^{2+}) (Cramer, 2000). Cela résulte en une interruption de fonctions du calcium (Ca^{2+}) dans l'apoplaste cellulaire aussi, fortes et constantes concentrations physiologiques de potassium (K^+) (100-200 mM), avec concentrations basses du sodium (Na^+) 1 à 30 mM est exigée dans le cytoplasme pour les processus cytoplasmiques normaux (Jeschke *et al.*, 1983; Binzel *et al.*, 1985). Par exemple, pour réaliser son rôle dans la synthèse de protéine, le potassium (K^+) est exigé pour l'agglutination d'ARNt aux ribosomes et peut-être autres aspects de fonction ribosomales. Les concentrations du sodium (Na^+) au-dessus de 100 mM ou un faible rapport (K^+) / (Na^+) peuvent inhiber de telles fonctions à travers la capacité du sodium (Na^+) de rivaliser avec le potassium (K^+) pour ses sites de liaison de sodium (Na^+) (Greenway et Munns, 1980; Wyn Jones *et al.*, 1983; Gorham *et al.*, 1992; Tester et Davenport, 2003). Les fortes concentrations en sodium (Na^+) peuvent perturber aussi les fonctions enzymatiques cytosoliques parce que le potassium (K^+) est un activateur essentiel de plus de 50 enzymes, le sodium (Na^+) est incapable de remplacer le potassium (K^+) dans ce rôle. De façon intéressante, les enzymes cytosoliques des halophytes sont aussi inadaptés aux fortes concentrations du sel, et présentent la même sensibilité vis-à-vis du sel comme les enzymes des glycophytes. Le sodium (Na^+) peut causer aussi l'interruption de composants cytoplasmiques tels que les microtubules, microfibrils, spherosomes et ribosomes. L'accumulation du sel dans la

plantule peut réduire la surface foliaire photosynthétique à travers l'inhibition du sodium (Na^+) de la division et l'expansion et cellulaire (Rahmoune *et al.*, 1997 ; Ben Nacer, 2004 ; Rahmoune, 2005)

I.1.4. Stress salin

On sous-entend par le sel, le chlorure de sodium (NaCl), sa toxicité à haute dose pour la majorité des plantes est liée à un effet caustique direct des ions chlore et sodium et surtout à son très fort pouvoir osmotique (El-Swaify, 1983; Parida et Das, 2005). La concentration en sel dans l'environnement d'une plante varie énormément, elle peut être insuffisante ou excessive, mais le stress salin s'applique surtout à un excès d'ions (Hopkins, 2003). La salinité affecte 6% de la surface terrestre soit 20% est dû à l'irrigation. Presque 100 million d'hectare de la totalité de ces sols est localisé dans les régions arides et semi arides (Szabolcs, 1992) et 80 millions se situent dans le bassin méditerranéens (Hamdy, 1999 ; Drevon *et al.* 2001). D'après les données de la FAO, la salinité a affectée 20 à 30 millions d'ha des 260 millions de terres irriguées en l'an 2000, dans les steppes d'Asie Centrale, le taux des surfaces irriguées affecté par la salinisation atteint 50 %, dans les pays du Maghreb et du Proche et Moyen Orient, ces pourcentages atteignent 30 à 40 % (Guillaume, 2000). L'Algérie connaît actuellement une évolution écologique irréversible caractérisée par un passage du régime semi aride à aride qui a couvert de grandes surfaces, cette aridité découle du phénomène de la sécheresse, résultat d'insuffisantes et irrégulières précipitations associées à d'importante évaporation de l'eau des sols (Daoud et Halitim, 1994; Snoussi et Halitim, 1998; Belkhodja et Bidai, 2004).

I.1.4-1 Salinisation

La salinisation est le processus par le lequel les sels solubles s'accumulent dans le sol et elle a été identifiée comme un processus majeur de la dégradation des terres (USDA, 1998). Les causes techniques les plus importantes à l'origine de la diminution de la production sur de nombreux périmètres est l'irrigation, particulièrement dans les zones arides et semi-arides. Il est estimé, à partir de diverses données disponibles que : Le monde perd au moins 3 ha de terres arables chaque minute à cause de la salinité du sol (Ipstrid, 2006) .En général, la salinité représente une teneur préjudiciable des sels solubles dans le sol à la production végétale ; d'une façon plus générale, il y a salinité chaque fois que la présence des sels vient modifier la vie végétale ou les caractéristiques

des sols (Forges, 1979). La salinité, qu'elle soit naturelle ou induite, constitue un frein au développement des plantes cultivées. En effet, la salinité agit sur tous les aspects de la biologie des plantes. Ces effets négatifs du sel sont généralement considérés sous trois aspects

-L'aspect osmotique qui se traduit par une moindre disponibilité en eau pour les plantes.

-L'aspect ionique et la toxicité des ions Na^+ et Cl^- qui ont un effet néfaste sur les structures membranaires.

-Le déséquilibre nutritionnel causé par les quantités excessives de Na^+ et Cl^- empêchent certains ions essentiels tels K^+ d'être absorbés. (Chorf, 2009).

I.1.4-1-1 Salinisation primaire

Les sels proviennent soit de l'altération des roches portant sel, ou sont déposés sur la terre par le vent (IPWEA, 2000). Cette salinité provient de l'altération de la roche mère saline par les facteurs d'érosion. La dissolution, par les eaux de ruissellement des roches sédimentaires qui sont riches en chlorures, sulfates et carbonates contribuant ainsi à la salinisation des sols (Du Chaufour *et al*, 1979).

En effet, l'altération de la roche mère qui fournit les sels responsables de la salinisation primaire est provoquée par l'eau de pluie souvent acide (H_2CO_3) mais aussi par des agents physiques (Aubert et Boulaine., 1980 *in* Salha, 2010).

I.1.4-1-2 Salinisation secondaire

C'est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles causé par l'approvisionnement en eau pour l'irrigation et qui aboutit à la formation d'un sol salin. L'irrigation altère le bilan hydrique du sol en générant un apport d'eau supplémentaire ; cet apport est toujours associé à un apport de sels. En effet, même une eau douce de meilleure qualité contient des sels dissous et, si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable. Les échanges de cations entre le sol et l'eau d'irrigation sont le début de la salinisation du sol. L'accumulation de sels solubles à la surface ou en dessous de la surface du sol à des concentrations qui ont des effets négatifs sur la croissance des plantes et/ou sur les sols. Ceci se produit du fait de l'évaporation qui abandonne sur le sol les sels dissous dans l'eau. La salinisation peut aussi être causée par la remontée capillaire des eaux

souterraines salines ou résulter d'une irrigation réalisée avec de l'eau saline (Iptrid, 2006).

I.1.4-1-3 Cause et effet de la salinisation

- Les rares précipitations, l'évaporation élevée ;
- L'irrigation avec de l'eau saline, et les pratiques culturelles ;
- La qualité médiocre de l'eau d'irrigation. (Ashraf et Foolad, 2007 ; Denden *et al*, 2005).

-Le phénomène d'invasion marine, qui peut s'étendre sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres est d'un grand risque pour les régions côtières tributaires des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau.

-L'invasion des eaux douces par les eaux salées aura pour effet une dégradation des sols et une salinisation par suite des irrigations avec ces eaux (Morsli, 2007).

I.1.4-1-4 Rapport entre la salinité du sol et celle de l'eau d'irrigation

Le développement de l'irrigation est dans la majorité des situations, accompagnée de l'apparition de processus de salinisation, de sodisation ou d'alcalinisation des sols 'à des degrés d'importance divers (Serge, 2004). Plus la conductivité électrolytique de l'eau d'irrigation est forte plus la teneur en Sodium (Na^+) augmente, provoquant ainsi un enrichissement net en sodium soluble. Lorsque la conductivité croît, le faciès chimique passe du type calcium, chlore (Ca, Cl) au type sodium, chlore (NaCl). Les résultats ont montré que la salinisation était la conséquence d'une irrigation avec des eaux assez concentrées en sel. Bien que dans certains endroits, les eaux ne soient pas très salées, ce sont pourtant elles qui ont donné naissance aux différentes manifestations de salinisation à cause des caractéristiques spécifiques des sols (sols argileux). (Morsli, 2007).

I.1.5 Effet de salinité sur les plantes

Les effets de la salinité sur les plantes sont complexes et ses conséquences incluent la toxicité par les ions (Pang *et al*, 2007), le déficit hydrique (Desclos *et al.*, 2008), la déficience et le déséquilibre nutritifs (Chen *et al.*, 2007). La grande majorité des stress salins est provoquée par des sels de sodium, particulièrement le NaCl. De ce fait, les termes halophytes et glycophytes font essentiellement référence aux stress provoqués par un excès de Na^+ (Gregory., 2005). La première difficulté d'une plante en milieu salin est d'assurer son apport en eau. Pour cela, il faut que la plante puisse ajuster

la pression osmotique de ses tissus par rapport à la pression osmotique du sol. Ce phénomène nommé l'épictèse, permet donc à la plante d'assurer une hypertonie constante (Heller., 2004). A l'échelle agronomique, les risques de salinisation varient de 4 à 16 mmhos/cm. A partir de 8 mmhos/cm, la plupart des plantes cultivées ont leurs rendements fortement abaissés par la salinité. Seuls les végétaux halophiles prospèrent dans des milieux à salinité supérieure à 16 mmhos/cm (Kenfaoui., 1997). .Durant le début et le développement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétiques sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress. (Parida et Das, 2005).

I.1.5-1 Action de sel sur la croissance et le développement

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente (Wang et Nil, 2000). Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (Chartzoulakis et Klapaki, 2000). Les sels solubles peuvent empêcher les racines d'absorber l'eau et les éléments nutritifs et, ainsi, restreindre la croissance des plantes cultivées, d'où un rendement plus faible (Wiebe, 2001). La salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire chez la tomate (Pessakli *et al.*, 1998).le taux élevé de NaCl se manifeste par une faible croissance dans la biomasse des racines, tiges et feuilles et une augmentation dans le ratio partie racinaire/partie aérienne chez le coton (Meloni *et al.*, 2001).

I.1.5-2 Impacts de la salinité sur l'eau dans la plante

Le stress salin induit des changements au niveau du statut hydrique de la plante (Hasegawa *et al*, 2000 ; Fricke et Peters, 2002). Le stress salin réduit le contenu relatif en eau des feuilles (Albouchi *et al*, 2003). Il diminue la transpiration (Rengasam, 2006), l'absorption hydrique par les racines, ce fait a été établi chez des plantes de résistance différentes (Snoussi *et al*, 2004).

I.1.5-3 Sur l'anatomie des feuilles

La salinité cause une augmentation de l'épaisseur de l'épiderme, l'épaisseur du mésophylle, la longueur des cellules palissadiques le diamètre des cellules palissadiques dans les feuilles de l'haricot, du coton et de l'atriplex (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). L'épaisseur du mésophylle et de l'épiderme ainsi que l'espace intercellulaire diminuent significativement dans les feuilles traitées avec le NaCl de la mangrove *B. parviflorai* (Parida et Das, 2005). Le stress salin cause le développement de la vacuolisation et un gonflement partiel du réticulum endoplasmique, le gonflement de la mitochondrie et la vésiculation et la fragmentation du tonoplaste en plus de la dégradation du cytoplasme par le mélange de la matrice cytoplasmique et vacuolaire des feuilles de la patate douce (*Ipomoea batatas*) (Mitsuya *et al.*, 2000 *in* Parida et Das, 2005).

I.1.5-4 Sur la photosynthèse

L'excès de sel devient toxique à un certain degré et accélère la sénescence naturelle des feuilles, en réduisant la capacité photosynthétique causé par la fermeture des stomates qui limite l'entrée du CO₂ (Zhu, 2001; Munns, 2002), La salinité affecte l'ultrastructure des chloroplastes (Ackerson, 1998 ; Salama, 1994) et plus particulièrement celle des granas (Baker, 2002; Rahman, 2002).

I.1.5-5 Sur les lipides

Les lipides sont la source la plus efficace du stockage de l'énergie, ils fonctionnent comme des isolateurs des hormones et organes délicats, et jouent un rôle important comme des constituants des structures de la plupart des cellules membranaires (Singh *et al.*, 2002). Ils ont aussi un rôle vital dans la tolérance à différents stress physiologiques chez une variété d'organismes comme la cyanobactérie. L'insaturation des acides gras contrecarre le stress salin ou hydrique. Wu *et al.*, (1998) ont analysé le changement de la composition des lipides soumis à un stress salin dans la membrane plasmique des racines chez *Spartina patens* et ont rapporté que les pourcentages molaires des stérols et les phospholipides diminuent avec l'augmentation de la salinité, mais le ratio stérols/phospholipides n'est pas affecté par le NaCl.

I.1.5-6 Sur l'absorption minérale

L'absorption à haute concentration de NaCl engendre une compétition entre les éléments minéraux, spécialement le sodium Na^+ , ce qui conduit à une déficience minérale des autres éléments. Le traitement accru de NaCl induit une augmentation dans le taux du Na^+ et Cl^- et une diminution dans le taux du calcium Ca^{2+} , le potassium K^+ et le magnésium Mg^{2+} chez de nombreuses plantes (Khan, 2001 in Haouala *et al*, 2007). La salinité fait augmenter le contenu de sodium Na^+ , du calcium Ca^{2+} et du chlore Cl^- chez *Vicia faba* L et le rapport K^+/Na^+ diminue (Gadallah, 1999 in Haouala *et al*, 2007) Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes: la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions Na^+ et Cl^- dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre le sodium Na^+ et le calcium Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique. L'accumulation des ions Na^+ affecte l'absorption de potassium K^+ et ceci en fonction de la concentration du premier élément, cependant, la présence de sodium Na^+ en faible concentration peut augmenter l'absorption de potassium K^+ , tandis qu'une concentration élevée en sodium Na^+ diminue. .

I.1.5-7 Effet de la salinité sur les enzymes antioxydants

Les effets inhibiteurs imposés par la salinité sur le processus de la germination peuvent être également expliqué par l'altération de l'activité enzymatique, indispensable à la réactivation cellulaire pendant cette phase. Ainsi la salinité inhibe l'activité de plusieurs enzymes (Blum, 1988 ; Larcher, 1995). La réponse aux stress chez un organisme fait intervenir un grand nombre d'enzymes, telles que le superoxyde dismutase, les peroxydases, la catalase et la glutathion réductase (Pelmont, 1995 ; Vincent, 2006). Les composés réduits de l'oxygène ont une chimie très étendue, sont à l'origine d'effets mutagènes et entraînent des altérations sur les protéines et les lipides. Pour faire face à ces inconvénients, les cellules vivantes se sont dotées de plusieurs armes efficaces pour éliminer les réactifs EAO. Ces mécanismes peuvent être divisés en deux catégories selon qu'ils impliquent des enzymes de façon directe ou indirecte (Sofa *et al*, 2004).

I.1.5-8 Effet de la salinité sur les glycophytes et les halophytes

Les halophytes sont des plantes capables de réaliser leur cycle entier en survivant dans des conditions salines, ils s'opposent aux glycophytes, plantes des milieux non salés par leur morphologie (feuilles, tiges) et par leurs caractères physiologiques (pression osmotique, résistance à la nature et à la concentration des sels) (Genoux *et al* 1991 ; Binet, 2005). Bien que certaines halophytes puissent résister à d'importantes accumulations de sel ; d'autres ne peuvent se développer complètement qu'en présence de fortes concentrations salines, ce sont des halophytes obligatoires considérées comme étant «halophiles» qui signifie plantes aimant le sel (Genoux *et al.* 1991). La grande majorité des stress salins est provoquée par des sels de sodium, particulièrement le NaCl. De ce fait, les termes halophytes et glycophytes font essentiellement référence aux stress provoqués par un excès de Na⁺. Une plante halophile obligatoire ne peut pas se développer sans un excès de sel alors qu'une plante halophile facultative se développera normalement dans des conditions non stressantes. À l'inverse, une plante glycophile obligatoire ne se développera jamais en présence d'un excès de sels (figure 1). (Levitt, 1980 ; Tester et Davenport, 2003).

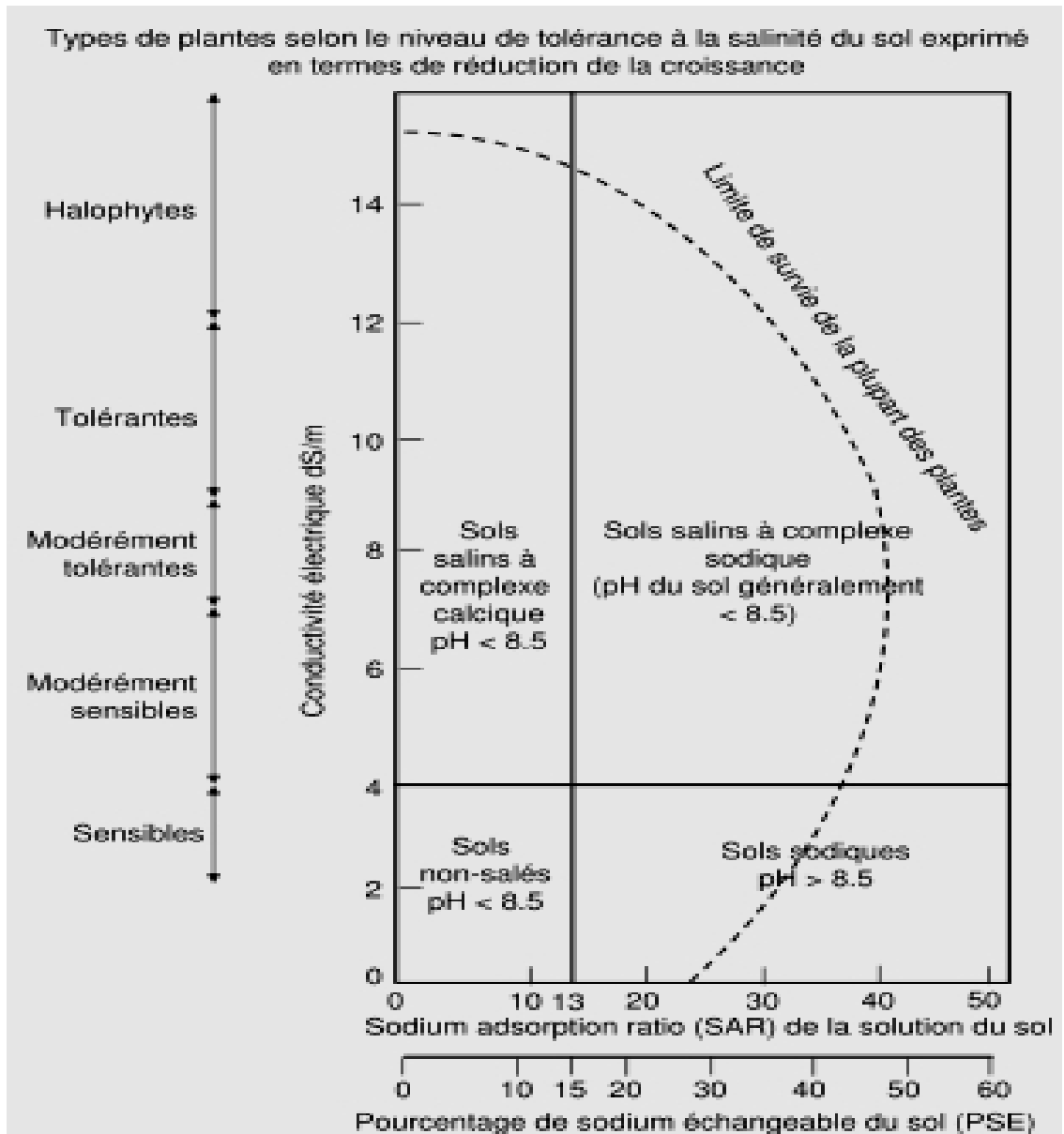


Fig.1 Tolérance des plantes glycophytes et halophytes à la salinité (Salha, 2010).

I.1.6-Tolérance des plantes à la salinité

I.1.6-1 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) Na^+/H^+ (Apse *et al*, 1999 *in* Parida et Das, 2005) (figure.2).

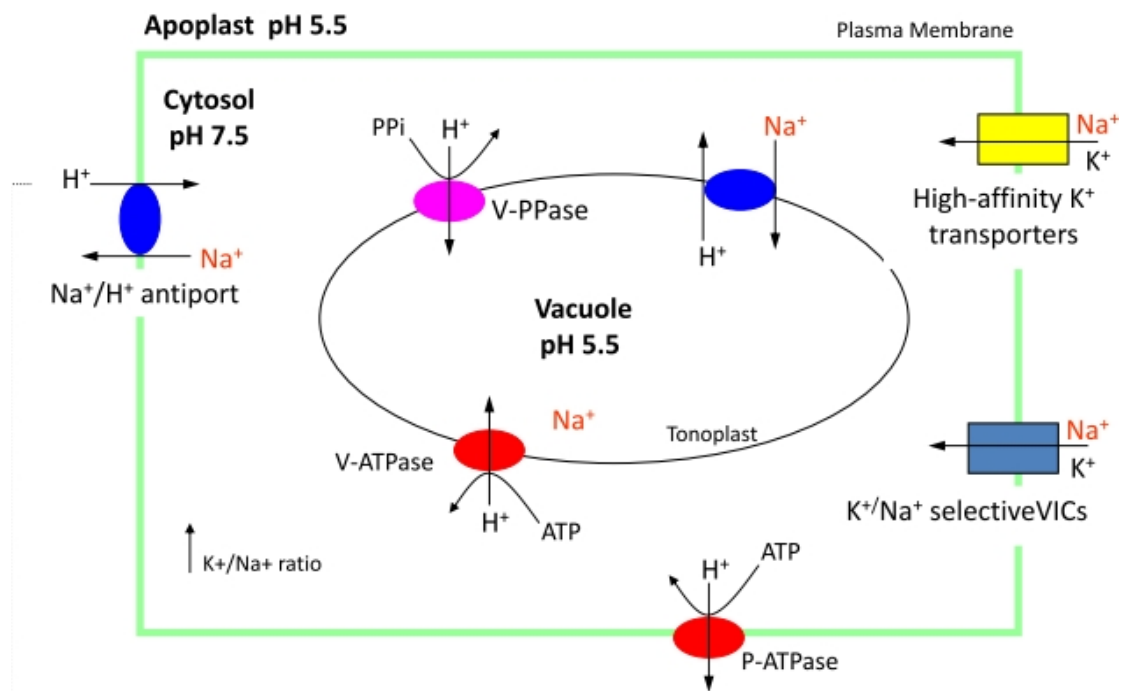


Fig.2 Régulation et compartimentation ionique (Mehdi, 2008).

I.1.6-2 Accumulation de proline

L'accumulation de proline est l'une des manifestations les plus remarquables du stress salin et hydrique (Belkhdja, 1996 ; Chen et Murata., 2002 ; Di Martino *et al*, 2003). Le rôle de la proline dans la résistance au stress salin n'est pas encore élucidé. Il peut s'agir d'un osmoticum dont l'accumulation cytoplasmique permet de neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation du sel dans la vacuole (Naidoo, 2001 ; Rontein *et al*, 2002). Selon un autre point de vue, l'accumulation de la proline n'est pas une réaction d'adaptation au stress, mais plutôt le signe d'une perturbation métabolique (Dix et Pearce., 1981). L'accumulation de proline en présence de NaCl est plus faible chez les espèces sauvages tolérantes que chez l'espèce cultivée sensible, ceci laisse penser que la proline ne joue pas un rôle essentiel dans la résistance au sel (Tal *et al*, 1979).

I.1.6-4 Autres modes de tolérance à la salinité

L'accumulation des sucres solubles est très prononcée chez les plantes soumises à la contrainte saline, ces sucres ont pour rôle l'établissement de l'équilibre osmotique (Balibrea *et al.*, 2000 ; Munns, 2002 ; Gregory, 2005). Parmi les Hormones on cite l'acide abscissique (ABA), synthétisé en réponse à l'effort de sécheresse et de salinité (Zhu, 2002) est connue pour induire la fermeture des stomates et pour réduire la perte d'eau par transpiration. L'ABA règle également la croissance de plantes et les processus développementaux, tels que la maturation d'embryon, sèment la dormance, et l'adaptation au stress salin (Leung et Giraudat, 1998; Finkelstein, 2002). Parmi les diverses phytohormones, L'ABA semble jouer le rôle le plus important dans la commande la réponse des stomates. Des nombreuses études récentes indiquent un effet coopératif entre L'ABA et d'autres phytohormones en réponse aux contrainte saline tel que l'éthylène (Dodd, 2003 ; Yu, 2005) .Un apport exogène de l'acide salicylique sur les jeunes plantes d'*Atriplex halimus* a diminué les effets nocifs de la salinité (Boukraa et Belkhodja,2008).L'éthylène règle de nombreux processus métaboliques y compris la germination de graine, le développement des racine, des feuilles et la sénescence et l'abscission des fleurs, la maturation du fruit, le nodulation, et les réponses des plantes à une grande Variété de stress (Bleecker et Kende,2000), Bien que son rôle dans la fermeture des stomates a été suggéré (Giulivo,1986). Dans des conditions de stress salin ou hydrique, les niveaux endogènes accrus d'ABA limitent la production d'éthylène et ainsi maintenir le rapport adéquat de croissance pousses/ racines (Sharp, 2002).Un autre mode de tolérance qui est l'ajustement osmotique est défini en tant qu'abaissement du potentiel osmotique dans le tissu végétal dû à l'accumulation des corps dissous compatibles qui peuvent agir en tant qu'osmolytes cytoplasmiques facilitant l'absorption et la conservation d'eau mais également comme protecteurs et stabilisateurs des macromolécules et des structures cellulaires (figure 3) (Bohnert et Jensen,1996 ; Di Martino *et al.*,2003).

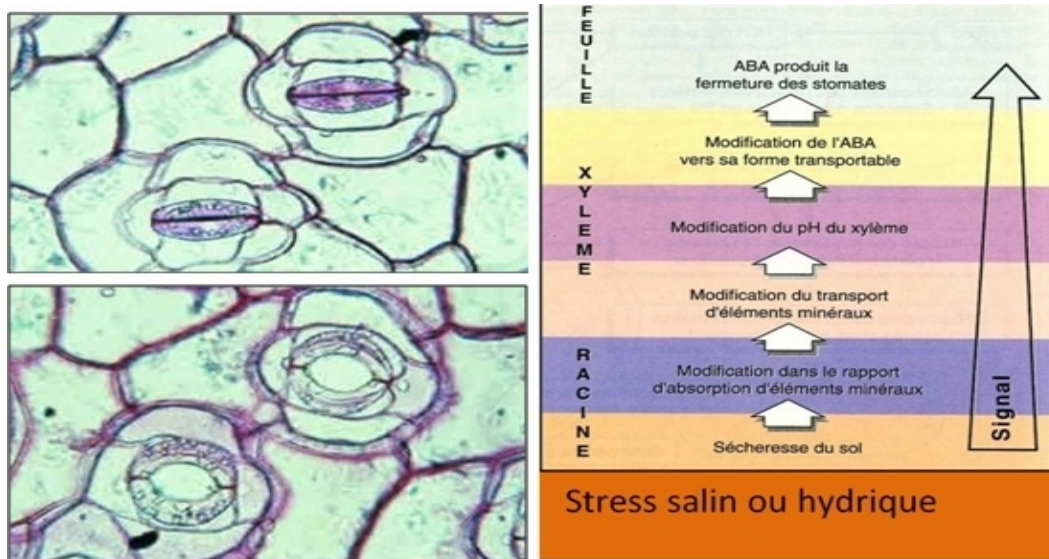


Fig.3: Rôle de l'acide abscéique dans la réponse au stress salin.

I.1.6-5 Mécanisme de tolérance vis-à-vis la salinité

Beaucoup d'informations sont disponibles sur les adaptations morphologiques et anatomiques en réponse à la salinité (Poljakof-Mayber., 1975). Les plantes poussant dans les conditions où le sol est affecté par la salinité subissent des perturbations d'ordre physiologique et biochimique (Ben Naceur *et al*, 2001). La réponse au sel des espèces végétales dépend de l'espèce même, de sa variété, de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante (Poljakof-Mayber., 1975). La plante peut s'adapter au stress salin de différentes manières:

L'exclusion

La plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne des cellules de la racine, ainsi que le transport sélectif permet d'adsorber les ions nutritifs utiles et de réexcréter les ions Na^+ (Genoux *et al*, 1991).

L'inclusion

La plante capte le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompes moléculaires et ainsi le sel est isolé des constituants cellulaires vitaux (Levitt., 1980; Genoux *et al*, 1991; Berthomieu *et al.*, 2003). La résistance des plantes à la salinité est définie par Shannon et Grieve (1999) comme étant la capacité inhérente des plantes à résister aux effets des concentrations élevées en sels dans le profil racinaire où sur les feuilles sans subir des effets nuisibles

significatifs. Sacher et Staples (1984) ont défini la tolérance à la salinité comme étant la capacité des plantes d'accroître et d'accomplir son cycle de vie sur un substrat qui contient des concentrations élevées en sels solubles. Dans cet habitat la plante doit répondre à deux exigences : l'adaptation osmotique et l'acquisition des éléments minéraux dont elle a besoin pour la croissance et le fonctionnement du métabolisme.

Chapitre II

La bentonite

II. LA BENTONITE

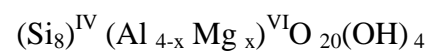
II-1 Définition et historique

Le terme bentonite a été employé en premier par Knight (1898) pour décrire une argile plastique fortement colloïdale et fortement gonflante de la région de Fort Benton au Wyoming, Etats-Unis d'Amérique; (Sigg., 1991). Ce terme a ensuite été étendu aux matériaux naturels dont la composition et les propriétés sont dominées par les smectites (Sigg., 1991).

La bentonite est donc une argile de couleur gris-blanc formée par le vieillissement de cendres volcaniques. Son composant principal est la montmorillonite, c'est d'ailleurs sa présence qui confère à la bentonite sa faculté de gonfler de 10 à 15 fois de son volume et d'absorber 6,5 fois son poids en eau (Sigg., 1991).

II-2 Structure de la bentonite

L'organisation de la microstructure de la bentonite du feuillet à l'assemblage d'agrégats (figure.4), 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). L'argile constituée des matériaux appelés les phyllosilicates sont des silicates dans lesquels les tétraèdres de SiO₄ forment des feuillets infinis bidimensionnels. 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 O²⁻ et OH⁻ (Caillère *et al.* (1982). Dans les cavités de ces unités structurales élémentaires ils existent des cations de tailles variables (Si⁴⁺, Al³⁺, Fe³⁺, Fe²⁺, Mg²⁺) 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 (figure.4). la bentonite composée de montmorillonite appartenant à la famille des smectites et se trouvant dans le groupe des dioctaédriques. Cette montmorillonite a la structure suivante (Touret *et al.*, 1990)



M_x

Les nombres IV et VI désignent les couches tétraédriques et octaédriques respectivement. Mx désigne le cation échangeable logé dans l'espace interfoliaire. Il compense le déficit de charge existant dans la maille élémentaire.

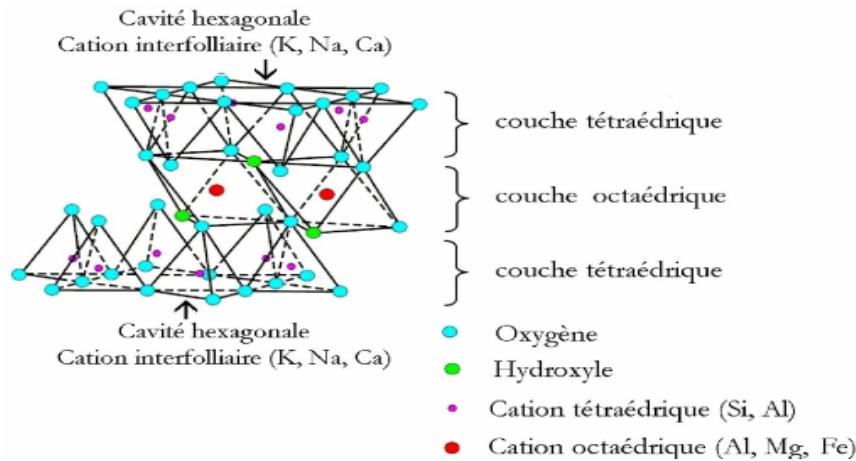


Fig.4 : Représentation schématique d'un feuillet de phyllosilicates 2:1.

(Luckham et Rossi, 1999).

II-3 Types de bentonite

Selon leur origine la bentonite présente des propriétés différentes ; sur le plan minéralogique la bentonite est un silicate d'alumine hydraté du groupe des Montmorillonites et qui regroupe deux types d'argile.

II-3-1 La bentonite calcique

La bentonite calcique a un indice de gonflement très faible qui la rend impropre à une utilisation comme additif viscosifiant des boues de forage, par contre, elle présente une capacité d'absorption élevée qui permet de la valoriser pour la production de terres décolorantes.

II-3-2 La bentonite sodique (gonflante et active naturellement)

La bentonite sodique est gonflante. L'indice de gonflement est proportionnel à la teneur en sodium. Elle convient alors le plus pour les boues de forage.

II-4 Caractérisation physico-chimique de la bentonite de Mostaganem

Le gisement de bentonite de Mostaganem est situé 37 km au Nord-est du chef lieu de la wilaya dans une localité appelée Mzila La bentonite de Mostaganem elle destinée généralement à l'industrie pétrochimique D'après (Bental., 2002) la bentonite du gisement de Mzila est plus sodique.

Sa grande surface spécifique, de l'ordre de 347 m²/g est à l'origine de sa capacité d'adsorption considérable (Sigg., 1991). Elle présente une capacité d'échange cationique (C.E.C) élevée et un pH basique (tableau n°1).

Tableau n° 1 Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite de Mostaganem.

Paramètre	teneurs	paramètre	Teneurs
Argile%	63	pH	9,0
Limon %	20	Ca (meq/100g)	43,6
Sable %	17	Mg (meq/100g)	4,8
Surface spécifique (m ² /g)	347	Na (meq/100g)	25,2
CEC (Cmol/kg)	49	K (meq/100g)	6
Na/CEC (%)	77	Na/Ca (meq/100g)	0,58

(Halilat *et al*, 2006; Seghairi, 2004 et Youcef, 2005).

Sur le plan chimique, la bentonite de Mostaganem composée de sept macro éléments chimiques (tableau.2).

Tableau 2 : Composition chimique (en %) de bentonite de Mostaganem (Bendjama, 1982).

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

La bentonite de Mostaganem est une argile riche en montmorillonite contient 45 à 50 % (tableau .3).

Tableau 3 : Caractéristiques minéralogiques de la bentonite.

Identification des minéraux			
Montmorillonite	Quartz	Feldspaths	Biotites
45 à 60 %	15 à 20 %	3 à 5 %	8 à 10 %

(Enof, 1997 in Seghairi, 2001).

II-5 Domaine d'utilisation

Parmi les applications principales de la bentonite dans le monde on peut citer :

- les forages
- la fonderie
- l'industrie
- la céramique
- l'industrie des pesticides et textiles
- le traitement des eaux
- l'industrie nucléaire

II-6 Bentonite en agriculture

En agriculture, la bentonite connaît beaucoup d'application .elle permet de mettre en valeur les très légères (Engelhater *et al*, 1985), et protège les sols contre l'érosion éolienne, elle est utilisée pour la protection contre les insectes et dans la médecine vétérinaire, en outre la bentonite peut se mélanger avec le fumier ou autres excréments d'animaux afin d'être utilisée comme agent de déshydratation. La bentonite est employée pour l'enrobage des engrais. Halilat et Tessier., 2006 ont montré que la bentonite améliore les paramètres chimiques des sols sableux. Par ailleurs, elle confère au sol sa structure et ses propriétés mécaniques. Elle est associée aux autres composants et constituent le complexe argilo-humique ou (organo-minéral). la bentonite est généralement à l'état flocculé en s'associant avec l'humus par l'action des ions Ca^{+2} et 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 (Jozja, 2003).

-En fonction de la salinité du milieu, on peut observer deux processus complémentaires (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.

-D'après Reguieg Yssaad *et al* (2008), la bentonite contribue à l'augmentation de la teneur en azote assimilable dans le sol portant l'association blé –pois chiche. Ces teneurs augmentent d'avantage dans le substrat sableux bentonisé à 10% au stade de tallage de blé.

-De point de vue économique l'application de la bentonite en agriculture permet d'améliorer la structure des sols sableux susceptibles d'augmenter la production agricole, d'économiser l'eau et les éléments fertilisants.

-En Tchécoslovaquie et en Hongrie, les expériences sur une longue durée ont prouvé que la courbe de production avait un maximum pour le taux de 25 T/ha à la dose de 9 % de bentonite. Tandis que l'optimum économique est situé entre 10 et 20 T/ha ; l'effet de l'application de la bentonite a été vérifié durant une période de 7 années (Engelthaler et Lostak, 1983) (Tableau 4).

Tableau 4 - Accroissement du rendement par l'application de la bentonite.

Doses de bentonite (T/ha)	Type de cultures	Augmentation du rendement (%)	Pays
20	Pomme de terre	18,6	Tchécoslovaquie
20	Seigle	16,7	Tchécoslovaquie
20	Légumineuse	39,0	Tchécoslovaquie
20	Maïs	39,2	Tchécoslovaquie
20	Orge	11,5	Tchécoslovaquie
20	Seigle/Orge	22,2	Tchécoslovaquie
20	Maïs	80 à 90	Hongrie

Chapitre III

*La fève *Vicia faba* L*

III. La fève *Vicia faba* L

III.1 Origine et classification

III.1.1 Origine et répartition géographique et écologie

La fève *Vicia faba* L. (broad bean en anglais) décrite par Linné en 1753 est une plante Dicotylédone herbacée originaire d'Asie ou du Moyen-Orient (Abdallah, 1979 ; Ladizing ,1975), ou l'Est de l'Europe et Portugal (Schultze-Motel (1972) in Belkhodja (1996). Sa culture est très ancienne et pratiquée dans le monde entier. La fève est localisée dans l'étage bioclimatique de 250 mm de pluie, tolère bien le froid (Herzog, 1984) et les hautes températures; la somme de températures nécessaires pour accomplir son cycle végétatif varie de 1900 à 2000 °C (Carlu, 1952).

III.1.2 Classification systématique

- . Règne *Plantae*
 - . Sous-règne *Tracheobionta*
 - . Division *Magnoliophyta*
 - . Classe *Magnoliopsida*
 - . Sous-classe *Rosidae*
 - . Ordre des *Fabales*
 - . Famille des *Fabaceae*
 - . Genre *Vicia*
 - . Espèce *faba*
- (Anne-Sophie, 2010).

Il en existe deux sous-espèces, *paucijuga* et *eu-faba*. Dans la sous-espèce *eu-faba* qui nous intéresse, on dénombre trois Variétés différentes (Gallais and Bannerot 1992) :

- . -*Vicia faba major*, la fève maraîchère à grosses graines destinées à la consommation humaine ;
- . -*Vicia faba minor*, la petite fève ou féverole utilisée pour l'alimentation du bétail ;
- . -*Vicia faba equina*, la fève à cheval à grains moyens aussi appelée féverole ou févette dans certaines régions. Comme son nom l'indique elle est également destinée à l'alimentation du bétail.

III.2 Aspect et particularités

La photo 1 représente l'aspect des feuilles, fleurs et racines avec nodosité de *Vicia faba* L. Il s'agit d'une plante robuste, grimpante, qui peut atteindre plus d'un mètre. Ses feuilles, composées de deux à sept folioles, sont alternes sur la tige de section carrée. Ses fleurs, disposées en racème (grappe), sont blanches avec un point noir sur les ailes, zygomorphes (à symétrie axiale) et hermaphrodites, à pollinisation entomophile. Sa floraison dépend de la photopériode et de la température (Evans 1959). Ses fruits sont des gousses, caractéristiques de la famille des Fabacées.

Comme chez tous les représentants de cette famille, connus sous le nom de légumineuses, les racines de la plante possèdent des nodules à l'intérieur desquelles des cellules géantes servent d'abri à une bactérie symbiotique, appartenant à l'espèce *Rhizobium leguminosarum*. Cette bactérie est capable de capter le diazote atmosphérique et de le fixer dans le sol sous forme d'ions utilisables par les plantes.



Photo.1-différents organes de la fève *vicia faba* L.

A : la partie aérienne.

B : La partie souterraine. (N : indique la nodosité.) (**Photo originale**).

III.3 Exigences de la plante

III.3.1 Exigences édaphiques

Cette plante méditerranéenne est peu exigeante sur le type de sol, à condition que ce dernier soit bien ensoleillé et pas trop acide. Mais la fève préfère les sols profonds, silico-argileux riches en matières nutritives et en humus Son pH optimal se

situé aux environs de 6,75, mais elle tolère bien les pH compris entre 5,5 et 8. (Kolev, 1976).

III.3.2 Exigences climatiques

Sa température optimale de pousse se situe aux environs de 20°C. Il s'agit d'une plante annuelle. Elle peut se semer sous des climats très cléments à l'entrée de l'hiver, en octobre ou novembre pour donner des fruits dès la mi-avril (Anne-Sophie, 2010).

III.4 Caryotype et cycle cellulaire

Le caryotype de *Vicia faba* L est très simple. Toutes les variétés de la plante sont diploïdes, et possèdent six paires de grands chromosomes, dont cinq paires de chromosomes acrocentriques et une paire de chromosomes métacentriques mesurant 15 µm de long, soit environ le double de la longueur des premiers (Duc, 1997). Le noyau de ses cellules renferme 26,7 pg d'ADN dont beaucoup d'hétérochromatine (Bennett 1976), ce qui est très élevé par rapport à beaucoup d'autres plantes. En comparaison, le pois *Pisum sativum* n'en possède que 9,8 pg (Grant et Owens, 2001). Le cycle cellulaire normal de la plante. Il dure environ 19,3h au total (Evans et Scott, 1963).

III.5 Intérêt écotoxicologique.

La fève est robuste, sa germination est rapide, elle permet, par la rapidité de sa germination et de sa croissance, de disposer très facilement de jeunes pousses dont les racines secondaires seront déjà utilisables pour les tests au bout d'une dizaine de jours seulement. De plus, cette plante, utilisée aussi en agriculture, peut pousser sur des sols de différentes natures, d'où son intérêt dans les expériences de terrain. La fève est très sensible à la pollution du sol, ce qui en fait un modèle végétal très utilisé en écotoxicologie dans un grand nombre d'études. Elle est utilisée dans un grand nombre d'études de mutagénèse par le test des aberrations chromosomiques à cause de la simplicité de son caryotype (De Marco *et al.* 1995; Sang et Li 2004). De plus, la grande quantité d'ADN contenue dans son noyau (Bennett 1976), la rend très sensible aux molécules génotoxiques (Ferrara *et al.* 2004). Ainsi, elle est l'un des modèles les plus utilisés dans le test des micronoyaux, pratiqué sur les cellules-filles de ses méristèmes racinaires (Cotelle, 1999; Degrassi; Duan *et al.* 1999; Marcato-Romain *et al.* 2009). Un autre test de génotoxicité, le test des comètes, est également pratiqué sur différents tissus de la plante (Cotelle 1999; Koppen et Verschaeve 1996; Lin *et al.* 2007). *Vicia faba* L est en outre aussi employée pour étudier les réponses des marqueurs du stress oxydant

(Radetski et al. 2004) et d'autres défenses antitoxiques de la plante comme les phytochélatines (Beraud 2007).

III.7 Intérêt économique

La fève est une des plantes légumières les plus cultivées dans le monde. La récolte mondiale de fèves s'élève à 4,75 millions de tonnes (FAO, 2002), dont : fèves vertes (1,02 millions de tonnes) et fèves sèches (3,73 millions de tonnes). Sa culture dans les pays du bassin méditerranéen représente presque 25% de la surface totale cultivée et de la production mondiale de fèves, avec un rendement très proche de la moyenne mondiale. En Afrique du Nord, elle représente une source alimentaire de première importance. En Algérie la culture de la fève est très répandue dans les plaines côtières et les zones sublittorales. Avec une surface cultivée d'environ 65000 ha et une production comprise entre 20000 et 38000 tonnes par an (Benachour *et al.*, 2007).

Les fèves séchées sont toujours une des bases de l'alimentation en Orient et en Afrique du Nord. Elles furent, avant le haricot, le légume du cassoulet. Il faut les faire tremper avant de les cuire. Elles s'accommodent comme les haricots secs.

La farine de fève est utilisée dans des recettes régionales. Son ajout, à celles de blé et de seigle, est autorisé à raison de 2 % maximum dans la fabrication du pain. La farine de fève a une saveur prononcée de noisette et une texture onctueuse. Les « **févettes** » sont cueillies avant maturité. Elles ont une gousse vert-pâle et de petits grains. (Elferiha, 2011)

III.8 Valeur nutritive de la fève

La fève est une légumineuse riche en protéines végétales, en glucides, en vitamines du groupe B et en vitamine C. Elle l'est également en fibres : quelques fèves croquées en début de repas sont un excellent moyen de lutter contre la constipation. C'est un des légumes bénéfiques du régime méditerranéen. La fève peut être consommée crue, mais sans la peau épaisse qui contient des tannins. En Espagne, elle entre dans la composition du fabada, une sorte de cassoulet. En Italie, on la cuisine *alla pancetta*, avec des oignons et du lard. Au Moyen-Orient, elle est consommée en purée, en beignets ou en salade (Elferiha, 2011).

Deuxième partie

Expérimentation

Chapitre IV

Matériels et méthodes

IV. Matériels et méthodes

IV.1 Matériels sol

IV.1.1 Préparation de substrat de culture

Le substrat utilisé correspond à un mélange sable bentonite. Le sable est récupéré au bord de la plage de Chaibia ayant subi plusieurs traitements successifs (photo. 2).

- 1-Tamisage avec un tamis de 2 mm de diamètre pour obtenir un sable fin ;
- 2-Lavage à l'eau de robinet. ;
- 3-Trempage dans une solution de HCl dilué au 1/5 dans l'eau distillée.
- 4-Lavage plusieurs fois à l'eau distillée ;
- 5-Désinfection avec l'eau de javel à 25%;
- 6-Lavage plusieurs fois avec l'eau distillée.
- 7-En fin on procède à la désalinisation du sable, en utilisant le nitrate d'argent.

La bentonite sous sa forme naturelle granulée a été préalablement broyée à l'aide d'un broyeur électrique et tamisé au tamis à maille de 2mm pour obtenir une poudre fine afin de faciliter son enfouissement et son mélange. La quantité de bentonite ajoutée au sol traité correspond à des doses exprimées en pourcentage du poids sec du sol. Les pots utilisés de diamètre de 15 cm, de poids 1Kg. Le fond de chaque pot a été garni d'une couche de gravier afin d'assurer un bon drainage. Quatre doses de bentonite sont retenues : 3, 5,7 et 10%. Les substrats choisis reçoivent quatre traitements de sels : le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de magnésium ($MgCl_2$), et le sulfate de magnésium ($MgSO_4$). Chaque dose de bentonite comporte 16 pots pour quatre concentrations salines soit 0 $Mmol.L^{-1}$, 20 $Mmol.L^{-1}$, 40 $Mmol.L^{-1}$ et 60 $Mmol.L^{-1}$ (tableau n° 8). Les substrats témoins sont irrigués uniquement à l'eau déminéralisée pendant la période d'application du stress. Après cinquante jours de germination des graines, l'application de stress a été effectuée une fois durant la dernière semaine, avant le prélèvement de la plante cultivée dans les substrats afin de les analyser.

Tableau .5 Poids sec de bentonite en grammes par rapport au pourcentage de la dose de bentonite retenue.

Dose de bentonite	3%	5%	7%	10%
Poids sec de bentonite (g)	30	50	70	100

Tableau .8 Composition de la solution saline.

NaCl + MgCl ₂ + MgSO ₄	NaCl (g/l)	MgCl ₂ (g/l)	MgSO ₄ (g/l)
20 mMol.L ⁻¹	0.58 g/l 10mMol.L ⁻¹	0.47 g/l 5mMol.L ⁻¹	0.6 g/l 5mMol.L ⁻¹
40 mMol.L ⁻¹	1.17g/l 20 mMol.L ⁻¹	0.953 g/l 10mMol.L ⁻¹	1.2g/l 10mMol.L ⁻¹
60 mMol.L-1	1.755g/l 30 mMol.L ⁻¹	1.43 g/l 15mMol.L ⁻¹	1.18g.l ⁻¹ 15mMol.L ⁻¹

**Photo. 2 :** Méthode de préparation des sables (**Photo Originale**).

IV.2 Matériel végétal

IV.2.1. Choix de l'espèce végétale

La fève (*Vicia faba* L) est une légumineuse qui a été choisie en raison de son utilisation au laboratoire comme plante modèle pour des études toxicologiques de différents stress (Marcato *et al*, 2009). Deux variétés introduites de l'Espagne : *Reine mora* L et *Semilla violeta* L ont été utilisées. De plus la fève présente de nombreux intérêts : croissance rapide, biomasse importante, sensibilité aux métaux et taille cellulaire importante facilitant l'utilisation de la technique des micronoyaux. Son utilisation à l'échelle internationale dans

des études d'écotoxicologie est croissante depuis plusieurs années. Le test des micronoyaux qui a été largement utilisé, du fait de sa sensibilité et de sa simplicité est particulièrement sensible aux contaminations métalliques, (Afnor, 2004). Les graines sont désinfectées à l'eau de javel à 8% pendant 10 minutes et rincer plusieurs fois à l'eau distillée pour éliminer toute trace de chlore.



Photo. 3- Les graines de deux variétés de *Vicia faba* L. (A : *Reinia mora* L. ; B : *Semilla violeta* L.).(Photo Originale).

IV.3. Conduite de l'essai

IV.3.1. Le semis

L'essai expérimental a été réalisé à l'université Es-Senia d'Oran. (Photo. 4), dans une serre où les facteurs température, humidité, et vent sont contrôlés automatiquement. Le semis a eu lieu le 02-02-2011 dans des pots remplis chacun de 1 Kg du substrat mélangé à raison de deux graines par pot (tableau n°06).



Photo. 4: La serre automatisée de l'université d'Oran (Photo Originale).

Tableau .6 Caractéristiques de la serre automatisée de l'université d'Oran.

Période	Jour	Nuit
Conditions		
Photopériode température humidité vent Intensité lumineuse Ensoleillement	8h 30 ^{±1.4} °C 70 ^{±3.6} % 0Km/h 10000L	8h 25°C 0Km/h

VI.3.2. L'arrosage

L'irrigation est effectuée à l'eau distillée, la capacité de rétention qu'est déterminé par la différence entre la quantité d'eau apportées avant l'arrosage et celle récupéré après 24 h de décantation. La réserve facilement utilisable RFU correspond à 30 et 60 % de la capacité de rétention soit 40 et 80 ml respectivement par pot. Trois fois par semaine, deux fois à l'eau déminéralisée et une fois à la solution nutritive (Hoagland et Arnon, 1938) diluée au 1/1000^{ème} couramment utilisé au laboratoire de physiologie végétale (Tableau n° 7).

Tableau 7: Composition chimique de la solution Hoagland.

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

Le dispositif adopté à la serre est à deux facteurs, bentonite avec cinq doses et le facteur salinité avec quatre doses en randomisation sur deux variétés (tableau.9 et Photo.5).

Tableau .9 Dispositif expérimental adopté à la serre.

Dose de bentonite (en%)	Dose de NaCl, MgCl ₂ , MgSO ₄ (mMol.L ⁻¹)	Fréquence variétale	Nombre total de pots
0	0	2	8 pots
	20		8 pots
	40		8 pots
	60		8 pots
3	0	2	8 pots
	20		8 pots
	40		8 pots
	60		8 pots
5	0	2	8 pots
	20		8 pots
	40		8 pots
	60		8 pots
7	0	2	8 pots
	20		8 pots
	40		8 pots
	60		8 pots
10	0	2	8 pots
	20		8 pots
	40		8 pots
	60		8 pots
Total=160 pots			

-SV-



-RM-



Photo. 5 : Dispositif expérimental adopté à la serre de deux variétés de la fève *Vicia faba* L. (SV : *Semilla violeta* L ; RM : *Reine mora* L.).

IV.4. Paramètres mesurés

IV.4.1. Taux et la durée de germination de deux variétés de *Vicia faba L*

a) Le taux de germination est le rapport des graines germées sur les graines semés.

$$\text{Taux de germination} = \frac{\text{Graines germés}}{\text{les graines a semés}} \times 100$$

b) La durée de germination est le temps en jour qui sépare les premières grains germées et la fin de la germination (Come, 1975).

VI.4.2 Mesure physiologique

VI.4.2.1Extraction et dosage de la proline

La proline est analysée selon la méthode de Bergman Rtloxley (1970).

a) Extraction

On pèse le matériel végétal soit 100 mg de racine et 100 mg de la partie aérienne de la plante (tige et feuille). Ce matériel végétal a été broyé dans 1.25 ml d'éthanol 95%, suivi de trois rinçages et lavages avec 1.25 ml d'éthanol 70% chaque fois. Des surnageant combines environ 5ml, sont prélevés 2.5ml auquel sont ajoutés 1 ml de chloroforme et 1.5 d'eau distillée. Le matériel végétal est gardé toute la nuit au froid à 0°C.

b) Dosage

On prélève 1 ml de la phase supérieure du matériel végétale, déjà décanté en évitant de toucher a la phase inférieure puis sont ajoutés 2 ml de solution de Na Cl 5 M et 5ml d'eau distillée .Après agitation , 2 ml de solution sont placés dans tube à essais au auquel sont ajoutés 2 ml de solution tampon phosphate (H_3PO_4 5.33M+ Na_2HPO_4 3.88 M à PH 2.5) et enfin 4ml de solution de ninhydrine (0.125g dans 2 ml de H_3PO_4 6M, plus 3 ml de CH_3COOH glacial)

Les tubes sont agités et placés au bain-marie bouillant pendant 60 mn pour le développement de la coloration .Une fois le mélange refroidi, la densité optique est lue au moyen d'un spectrophotomètre à 505nm.



Photo. 6 : développement de la coloration en fonction de teneur en proline (**Photo originale.**)

IV.4.3. Paramètres hydriques

IV.4.3.1. Teneur en eau relative

Le contenu relatif en eau est mesuré à partir des masses fraîches (FW), turgescente (TW) et sèche (DW) d'un matériel végétal, les feuilles le plus souvent. Il est donné par l'équation de Barrs and Weatherley (1968) :

$$\text{RWC (\%)} = \frac{[\text{FW}-\text{DW}]}{(\text{TW}-\text{DW})} \times 100.$$

La masse fraîche est mesurée immédiatement après le prélèvement des feuilles. La masse turgescente est obtenue après 24h de contact de la feuille avec du papier filtre humide, en atmosphère confinée, à 4° et à l'obscurité. La masse sèche est obtenue après 48 h de séchage dans une étuve à 60° (poids constant). En déduisant le déficit hydrique suivant la formule

$$D = (m - m_r) / m_r ;$$

m = teneur maximum ; m_r = teneur réelle.

IV.4.4. Extraction et dosages chimiques de la plante

IV.4.4.1. Extraction des éléments minéraux de la plante

Les procédés d'extraction et de dosage des éléments minéraux sont effectués sur les feuilles, et les racines des plantes stressées et témoins par la méthode analytique décrite par (Lafon *et al*, 1996) et qui consiste à déterminer la composition en éléments d'une plante en procédant d'abord, par calcination et ensuite à la destruction complète de la matière organique (Martin-Prevel *et al*, 1984), le résidu est ensuite analysé. Après étuvage de matériel végétal sec est broyé à l'aide d'un mortier pour l'obtention d'une

poudre fine, conservée dans des piluliers hermétiquement fermés par des bouchons plasma et mis dans un congélateur pour le reste des opérations. Après séchage à l'étuve à 70 °C pendant 16 heures, 100mg de matière sèche et incinérés à 450°C pendant 2 heures au four à moufle. Après refroidissement, 2 ml de HNO₃/capsule sont ajoutés, puis on remet au four pendant 1 heure. La cendre obtenue est dissoute dans 3 ml d'HCl (6N) puis filtrée, et le volume est amené à 50 ml. A partir de cette solution, les dosages de Na⁺ et K⁺ sont effectués par photométrie à flamme.

IV.4.4.2 Dosage des éléments minéraux de la plante

a) Dosage du sodium et du potassium par le spectrophotomètre à flamme

Après la réalisation des courbes d'étalonnage pour chaque élément, on procède au dosage du sodium et du potassium qui sera réalisé sur filtrat, par une lecture directe au moyen d'un photomètre à flamme.

Le calcul des concentrations réelles se fait par l'équation déduite de la gamme d'étalonnage (Annexe .1) et par des conversions prenant en considération toutes les dilutions faites et le poids initial des échantillons.

b) Le sodium

Pour préparer une solution standard de sodium, il faut mettre 1.000 g du chlorure de sodium (Na Cl) desséché dans une fiole jaugée d'un litre de capacité, compléter le volume avec de l'eau déminéralisée jusqu'au trait de jauge.

c) Le potassium

Pour préparer une solution standard de potassium, il faut mettre 1.000 g du chlorure de potassium (K Cl) desséché dans une fiole jaugée d'un litre de capacité et compléter le volume avec de l'eau déminéralisée jusqu'au trait de jauge.

IV.4.5-Indice de tolérance

Un indice dit de tolérance (Tolérance Index, TI) est calculé à partir de la longueur des racines. Il permet de comparer la capacité des plantes à pousser dans un milieu de culture liquide contaminé, dans notre cas par salinité, par rapport aux plantes poussant dans un milieu non traité. La formule de cet indice est la suivante :

TI (%) = (taille moyenne des racines des plantes traitées / taille moyenne des racines des plantes témoins) ×100 (Wilkins, 1957).

IV.4.6 Analyse statistique

Les données obtenues sont soumises à une analyse de la variance à deux Facteurs en randomisation fixes de classification, les moyennes sont comparées selon le test de Student et Fisher, réalisés par le logiciel STATBOX 6.40 et confirmé par *statistica 7*. On considère que les résultats sont significatifs quand $P < 0,05$. On a aussi utilisé l'Excel pour la construction des graphes et pour calculer la moyenne et l'écartype.

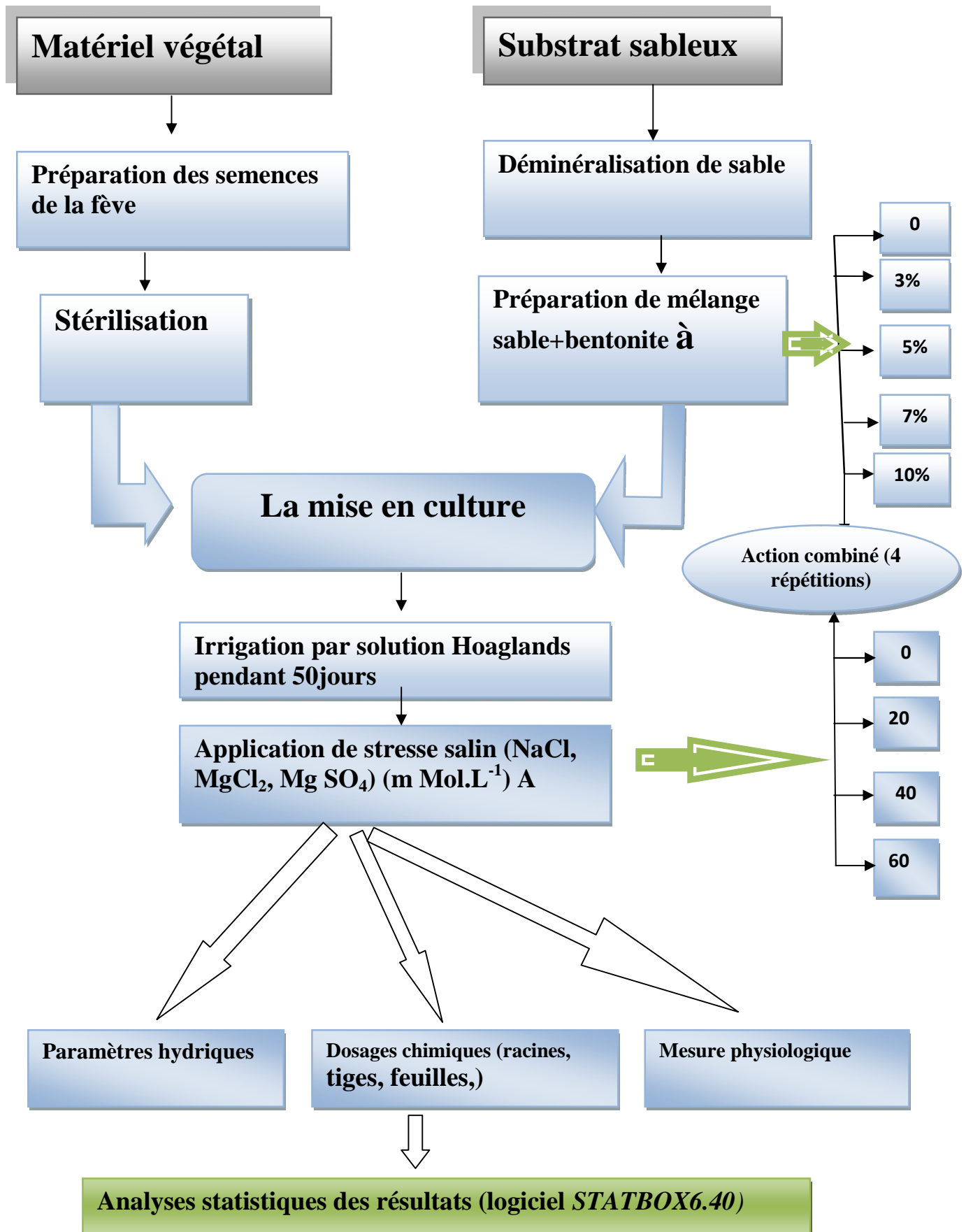


Fig. 5 : Le protocole de travail expérimental.

Chapitre V

Résultats et discussions

V-1 Effet de la bentonite sur la germination

V-1-1 Taux de germination

a) Variété *Semilla violeta* L.

Il est noté que le taux de germination le plus faible est enregistré dans le sol témoin avec une valeur de 80%. En revanche ce taux est le plus élevé dans les substrats à 5,7 et 10% de bentonite, les valeurs sont identiques et se regroupent autour de 91,16% (figure 6).

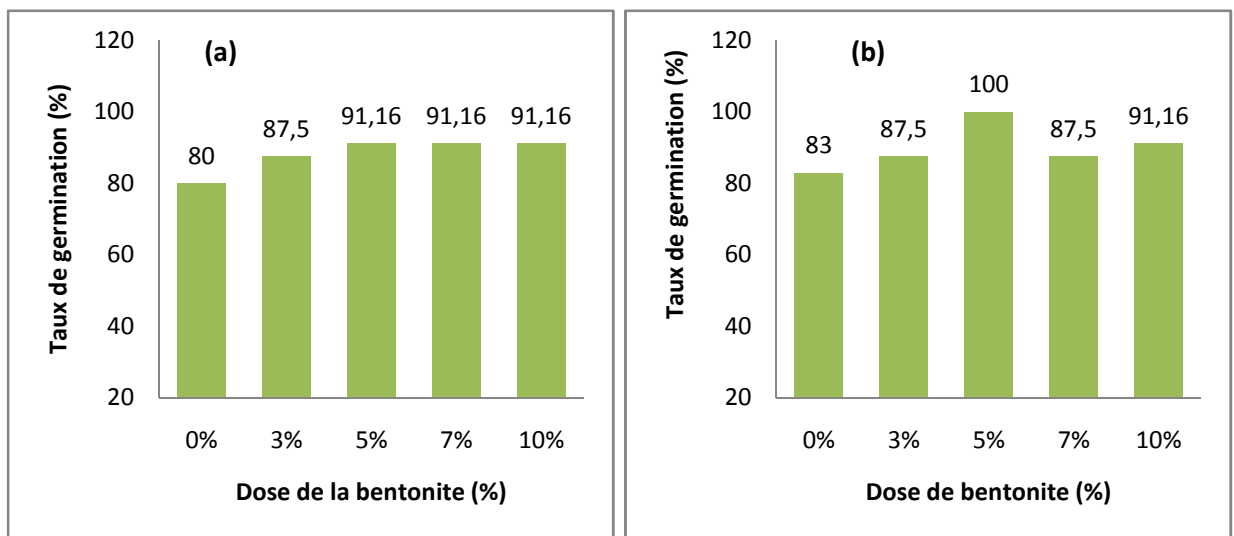


Fig. 6 : Taux de germination (%) de deux variétés de fève dans un substrat sableux amendé en bentonite. (a) : *Semilla violeta* L. (b) : *Reine mora* L.

b) Variété *Reine mora* L.

Le substrat témoin présente le taux le plus faible de germination chez cette variété. On remarque que le taux de germination croît en fonction de la dose de bentonite où on note un taux de germination maximale de 100 % dans les substrats traités à 5% de bentonite soit une augmentation de 20% par rapport au témoin. Ce qui explique bien l'effet de l'argile sur l'amélioration des caractéristiques physico-chimiques du sol en augmentant les réserves en eau indispensable à la germination. On note également que les doses de 7 et 10% de bentonite présentent une germination relativement importante par rapport au substrat témoin soit 87.5 % et 91.16 % respectivement, (figure 6).

V-1-2 Durée de germination

a) Variété *Semilla violeta* L.

Une germination tardive de 7 jours est enregistrée dans le substrat témoin. La durée de germination est de 3 jours à la dose de 5% de bentonite, soit un raccourcissement de 4 jours par rapport au témoin, ce qui peut expliquer l'effet de l'argile sur la vitesse de germination des graines de cette variété. Les sols traités à 7 et 10% de bentonite présentent des durées plus courtes comparativement au témoin (4 et 5 jours respectivement (figure 7).

b) Variété *Reine mora* L.

La durée de germination la plus longue est consignée chez le substrat sans amendement en bentonite (figure 7). Par contre cette durée est dans les substrats traités à 5% de bentonite. Par conséquent et comparativement au sol témoin, la durée de germination est courte dans tous les substrats enrichis en bentonite.

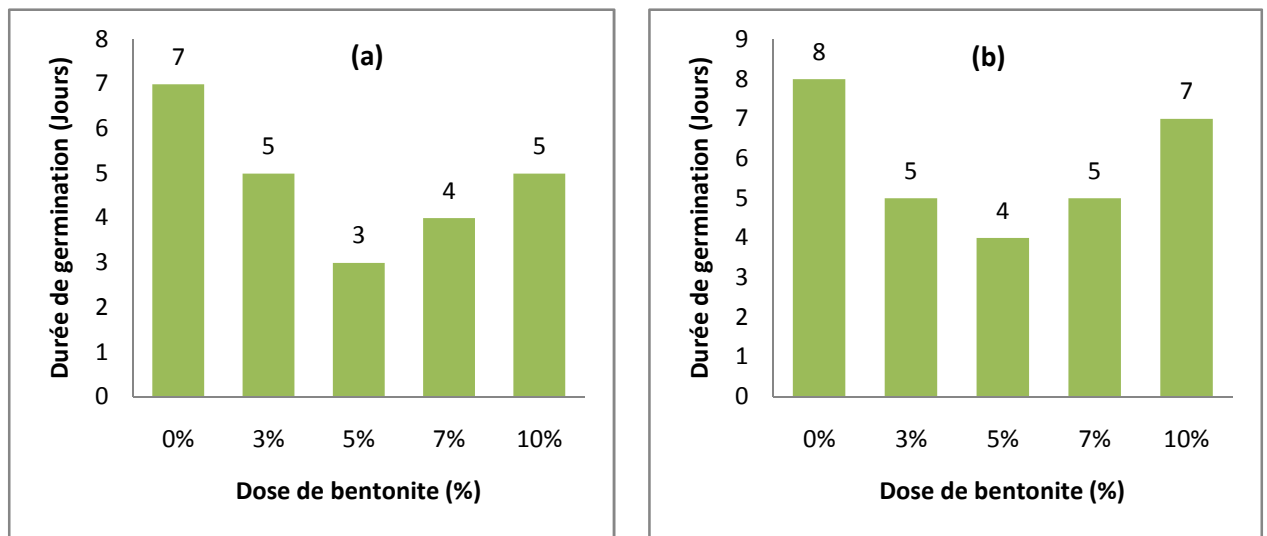


Fig.7 : Durée de germination (Jours) de deux variétés de fève dans un substrat sableux amendé en bentonite.

(a) : *Semilla violeta* L. (b) : *Reine mora* L.

c) Discussion

Pour les deux variétés utilisées, la bentonite améliore d'avantage le taux et la durée de germination par rapport au substrat sableux sans amendement de bentonite. La richesse du sol en argile gonflante de type montmorillonite améliore considérablement la capacité de rétention en eau élevée en augmentant la réserve hydrique suffisante et indispensable au phénomène de la germination. Selon Benkhelifa ,2007 la bentonite de

Mostaganem accrue de manière appréciable la teneur en eau du substrat ce qui se traduit par une augmentation de la teneur en eau des plantes. Hopkins, 2003 rapporte que la première étape de la germination est l'absorption d'eau et la réhydratation des tissus de la graine par un processus appelé imbibition et que l'embryon reprend sa croissance et la graine germe Lorsque les conditions sont favorables.

-L'addition des teneurs de 7 et 10% de bentonite pour la variété *Reine mora* L influe négativement sur le taux et la durée de germination. Par contre la variété *Semilla violeta* L tolère les sols très riche en argile (7 et 10%) en résistant aux contraintes édaphiques et hydriques du sol. l'amendement en fortes teneurs en argile (7 et 10%) augmentent la sensibilité des graines en les engorgeant par une forte hydratation, cette dernière diminue le taux d'oxygène dans le milieu de la germination. En outre la nature sodique de l'argile intervient dans la qualité chimique d'eau. D'après Heller 2004, la germination est caractérisée par une stabilisation de l'hydratation et de l'activité respiratoire à un niveau élevé et qui succède à la phase d'imbibition correspondant à une forte hydratation. L'imbibition dépend, inévitablement de la quantité d'eau disponible mais elle est grandement conditionnée par la qualité chimique de cette eau.

V-2 Paramètre physiologique

V-2-1 Teneur en proline

Les figures (8 et 9) représentent la teneur en proline des deux variétés étudiées (*Semilla violeta* L. et *Reine mora* L.) en fonction de l'intensité du stress salin (0 ; 20 ; 40 et 60 mMol.L⁻¹) dans des substrats sableux amendés en bentonite (0 ; 3 ; 5 et 7 et 10 %).

a) Variété *Semilla violeta* L.

- **Sans traitement à la bentonite**

Les résultats obtenus de la proline de la variété de *Semilla violeta* L du substrat témoin varient entre 35.18 et 70,74 µM/100 mg.PS pour la partie aérienne .On note également des teneurs en proline dans les racines qui oscillent entre 22.71et 35,80 µM/100 mg .PS avec une différence importante entre les plantes stressées et non stressés. L'accumulation de la proline ne devient importante qu'à partir de 40mMol.L⁻¹ .La dose saline de 20 mMol.L⁻¹ ne déclenche pas le stress salin dans le substrat sableux sans traitement à la bentonite, car la conductivité électrique est inférieure à 4 Mmoho.cm⁻¹. (figure.8) On remarque par contre qu'à des doses salines de 40 et 60 mMol.L⁻¹, la proline dans la plante devient plus élevée dans la partie aérienne comparativement à la partie souterraine (annexe.3 tableau 37).

Le test t de la comparaison des moyennes dans la partie aérienne montre des effets significatifs du traitement salin 40 et 60 mMol.L⁻¹ sur la teneur en proline par rapport aux lots témoins. L'effet du stress salin dans la partie souterraine est non significatif par rapport au témoin (tableau.10).

- **3% de bentonite**

Selon les résultats obtenus dans les substrats à 3% de bentonite et par rapport au sol non amendé en bentonite, les teneurs les plus élevées en proline sont enregistrées à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹ dans la plante (figure.8) ; néanmoins les teneurs en proline sont plus importantes dans la partie aérienne que racinaires (annexe.3 tableau 37).

- **À 5% de bentonite**

L'analyse des résultats obtenus dans les substrats à 5% de bentonite révèle une différence importante de la teneur en proline entre la partie aérienne et la partie souterraine (figure.8). La teneur en proline est proportionnelle à la dose saline, les

teneurs les plus élevées sont enregistrées à 60 mMol.L^{-1} ($61.11 \mu\text{M}/100 \text{ mg.PS}$ de sels dans la partie aérienne et $37.16 \mu\text{M}/100 \text{ mg.PS}$ dans la partie souterraine). Il faut remarquer que la teneur en proline dans la partie aérienne est importante par rapport au racinaire (annexe.3 tableau 37).

L'analyse statistique (tableau. 10) montre un effet hautement significatif de la salinité à 60 mMol.L^{-1} par rapport aux plantes qui ne reçoivent aucune solution saline .

- **À 7% de bentonite**

Les résultats obtenus montrent que l'accumulation en proline de la partie souterraine de la plante stressée aux sels est largement supérieure à celle du substrat sans amendement de bentonite. Par contre l'accumulation de la proline de la partie aérienne de la plante stressée est moins élevée que celle du substrat témoin (0% de bentonite) (figure 8). L'accumulation de la proline n'a présenté aucune différence entre la partie aérienne et souterraine (annexe.3 tableau 37).

- **À 10% de bentonite**

L'accumulation en proline de la partie aérienne de la plante non stressée est moins importante comparativement au substrat témoin (0% de bentonite), où on note une diminution du 41.03% de taux de proline. Il faut évoquer qu'il n'y a aucune différence entre la partie aérienne et souterraine pour l'accumulation de la proline (figure 8). L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ dans la partie aérienne révèle des effets hautement significatifs à 20 et 40 mMol.L^{-1} et un effet significatif à 60 mMol.L^{-1} par rapport au témoin (0 mMol.L^{-1} sel). Par contre dans la partie souterraine l'effet est significatif à 20 et 40 mMol.L^{-1} et hautement significatif à 60 mMol.L^{-1} (tableau.10).

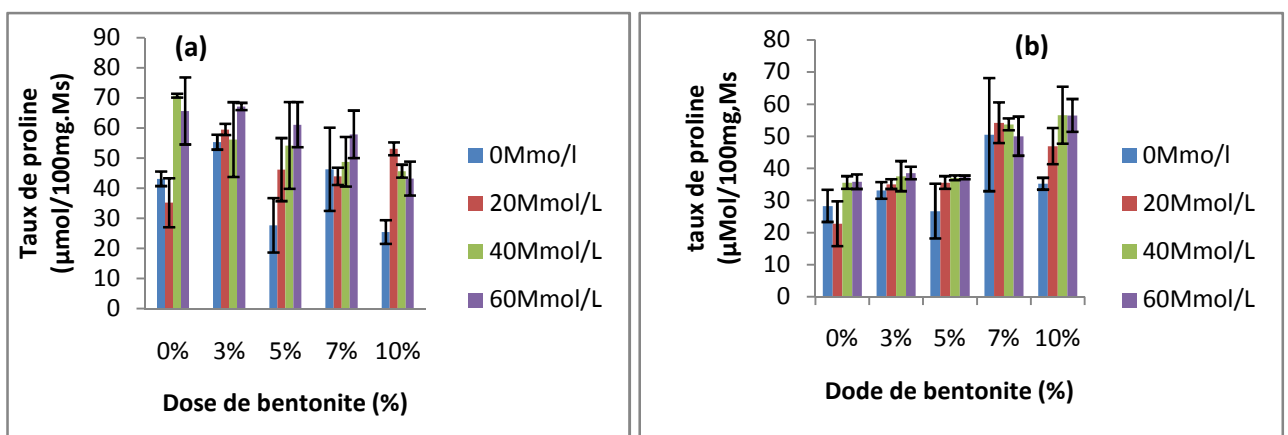


Fig. 8: Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur en proline dans les parties aérienne (a) et souterraine (b) de la variété *Semilla violeta L.*

Tableau .10 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur en proline selon l'intensité du stress salin et différentes doses de bentonite dans les parties aérienne (PA) et souterraine (PS) de la variété *Semilla violeta* L.

Dose de bentonite (%)	Dose des sels en mMol.L ⁻¹	Proline (µmol/100mg .PS)	
		PA	PS
0	0	43,13±2,43	28,27±5,028
	20	35,18±8,12 NS	22,71±7,00 NS
	40	70,74±0,64 **	35,55±1,96 NS
	60	65,67±11,14 *	35,80±2,26 NS
3	0	55,30±2,46	33,08±2,60
	20	59,50±1,86 NS	35,06±1,54 NS
	40	56,17±12,4 NS	37,53±4,69 NS
	60	67,16±1,19 **	38,51±1,96 *
5	0	27,65±9,05	26,66±8,54
	20	46,17±10,47 NS	35,55±1,96 NS
	40	54,19±14,40 NS	37,03±0,74 NS
	60	61,11±7,49 **	37,16±0,56 NS
7	0	46,29±13,85	50,49±17,64
	20	43,95±2,87 NS	54,19±6,31 NS
	40	48,76±8,23 NS	53,70±1,85 NS
	60	57,90±7,92 NS	50±6,09 NS
10	0	25,43±3,92	35,18±1,85
	20	53,08±2,13 **	46,91±5,60 *
	40	45,67±2,13 **	56,54±8,87 *
	60	43,21±5,65 *	56,46±5,13 **

PA : Partie aérienne ; PS : Partie souterraine.
NS : Non significatif ** : hautement significatif * : Significatif.

b) Variété *Reine mora* L.

• Sans traitement à la bentonite:

Au fur et mesure que la dose saline augmente, le taux de proline devient important avec une valeur optimale de 49.09 µMol/100mg .PS pour 60 mMol.L⁻¹. En revanche la partie souterraine enregistre des taux de proline plus faibles comparativement à la partie aérienne, les valeurs variant entre 7.28 et 11.72 µMol/100mg .PS. (figure 9) Il est noté que l'accumulation de la proline est plus conséquente dans les plantes stressées par rapport à la plante témoin.

• À 3% de bentonite.

La teneur de la proline dans la partie aérienne de la plante augmente proportionnellement avec les doses de sels appliquées, à l'exception de la dose saline de 60 mMol.L⁻¹ où on enregistre une très légère diminution (43.43 µMol/100 mg .PS). Contrairement à la partie aérienne de la plante, l'accumulation de la proline dans les racines est la plus forte à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹ avec une valeur optimale de

35.06 $\mu\text{Mol}/100\text{mg}$.PS (figure 9). Cependant la partie aérienne engendre des teneurs en proline les plus élevés par rapport à la partie racinaire de la culture (annexe.3 tableau 39).

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur le taux de proline de la partie aérienne de la plante est significatif à 40 mMol.L^{-1} . Par contre le stress salin ne provoque aucun effet significatif sur la teneur en proline dans la partie souterraine de la plante (tableau.11).

- **À 5% de bentonite**

Dans le sol amendé à 5% de bentonite, l'évolution de la teneur en proline est identique dans les parties de la variété *Reine mora L*, mais l'accumulation de la proline est la plus élevée de la partie aérienne (tableau.19). Les teneurs en proline les plus importantes sont atteintes à 60 mMol.L^{-1} ($64.44 \mu\text{Mol}/100 \text{ mg}$ et $45.30 \mu\text{Mol}/100\text{mg}$.PS) soit une augmentation par rapport au témoin de 98.58% dans la partie aérienne et de 31.99 % dans la partie racinaire. La dose saline de 20 mMol.L^{-1} ne déclenche pas le stress salin dans les systèmes aérien et souterrain de la culture dans le substrat sableux traité à 5% de bentonite (figure 9). L'analyse statistique ne révèle aucune différence significative de l'accumulation de proline entre les parties aérienne et souterraine (annexe.3 tableau 38).

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur le taux de proline de la partie aérienne et souterraine de la plante est significatif à 40 et 60 mMol.L^{-1} (tableau.11).

- **À 7% de bentonite**

L'ajout du taux de 7% de bentonite au sol sableux engendre un accroissement de la teneur en proline dans la partie aérienne des plantes stressées par rapport aux substrats amendés à 5 et 3% de bentonite. L'accumulation de la proline de la partie aérienne varie entre 62.34 et 100.37 $\mu\text{Mol}/100 \text{ mg}$.PS respectivement pour le témoin et 60 mMol.L^{-1} de dose saline. Le taux en proline reste moins important dans l'organe racinaire avec des teneurs variant entre 36.91 à 48.27 $\mu\text{Mol}/100 \text{ mg}$.PS successivement pour le témoin et 40 mMol.L^{-1} de dose de sels (figure 9).L'analyse statistique révèle une différence significative de l'accumulation de la proline dans la partie aérienne par rapport à la partie souterraine (annexe 3 tableau 39).

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur le taux de proline de la partie souterraine de la plante est significatif à 20 mMol.L^{-1} . Par

rapport au témoin. Par contre le stress salin ne provoque aucun effet significatif sur la teneur en proline dans la partie aérienne de la plante (tableau.11).

- **À 10% de bentonite**

L'adjonction de 10% de bentonite au substrat sableux a provoqué des teneurs les plus élevées en proline à 60 mMol.L⁻¹ par rapport aux substrats précédents (3, 5 et 7% de bentonite), soit 134.07 et 51.48 μMol/100mg .PS régulièrement pour les parties aérienne et souterraine, à l'exception de la dose saline de 20 mMol.L⁻¹ où on remarque une légère réduction de la proline dans la partie souterraine. (figure 9) L'analyse statistique montre une différence significative de l'accumulation en proline dans la partie aérienne par rapport à la partie souterraine (annexe.3 tableau 39).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur le taux de proline de la partie aérienne de la plante est significatif à 60mMol.L⁻¹ par rapport au témoin. Par contre le stress salin provoque des effets significatifs à 20 et 60 mMol.L⁻¹ par rapport au témoin sur la teneur en proline dans la partie souterraine de la plante (tableau.11).

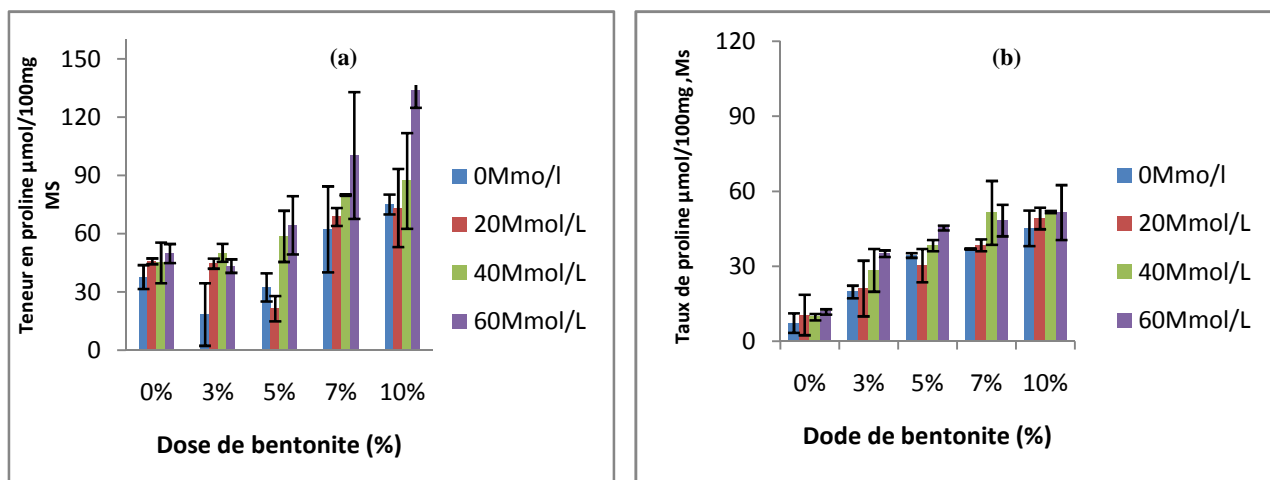


Fig.9: Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur en proline dans les parties aérienne (a) et souterraine (b) de la variété *Reine mora L.*

Tableau. 11 Test statistique t de signification de Student (P= 5%) de la teneur en proline selon l'intensité du stress salin et différentes doses de bentonite dans les parties aérienne (PA) et souterraine (PS) de la variété *Reine mora* L.

Dose de bentonite (%)	Dose des sels en mMol.L ⁻¹	Proline (µMol/100 mg MS)	
		PA	PS
0	0	37,77±6,16	7,28±3,89
	20	45,92±1,48 NS	10,49±8,08 NS
	40	45,06±10,47 NS	9,63±1,28 NS
	60	49,87±4,91 NS	11,72±1,06 NS
3	0	18,51±16,14	19,75±2,52
	20	44,69±2,60 NS	21,11±11,15 NS
	40	50,24±4,60 *	28,39±8,55 NS
	60	43,43±3,44 NS	35,06±1,30 NS
5	0	32,46±7,28	34,32±0,93
	20	21,48±6,48 NS	30,24±6,67 **
	40	58,76±13,17 *	38,27±2,26 NS
	60	64,44±14,98 *	45,30±0,93 *
7	0	62,34±22,14	36,91±0,21
	20	68,76±4,63 NS	38,39±2,35 **
	40	80±0,37 NS	51,35±12,75 NS
	60	100,37±32,6 NS	48,27±6,31 NS
10	0	75,18±5,13	45,18±7,09
	20	73,33±20,09 NS	49,13±4,32 *
	40	87,28±24,63 NS	51,72±0,42 NS
	60	134,07±9,08 *	51,48±10,96 *

PA : Partie aérienne PS : Partie souterraine NS : Non significatif ** : hautement significatif * : Significatif

c) Discussion

L'étude de l'effet combiné de la salinité et de la bentonite montre pour :

- ***Semilla violeta* L.**

-L'analyse de la variance (annexe.2 tableau.1et 2) révèle des résultats très hautement significatifs de l'effet du traitement salin et du facteur bentonite (P> 0.0001) sur la teneur en proline de la variété *Semilla violeta* L soit au niveau de chaque organe, ou au niveau d'organes différents (aérien et souterrain). Par contre Les résultats obtenus montrent que l'accumulation de la proline au niveau de la partie aérienne est très significative en comparaison avec les racines.

- ***Reine mora* L.**

-La variété *Reine mora* L révèle des résultats très hautement significatifs de l'effet du traitement salin (P=0.00) et du facteur bentonite (P= 0.00).

-L'effet de l'interaction bentonite-salinité ($P=0.01$) sur la teneur en proline de la partie aérienne est significatif. Par contre, les résultats obtenus au niveau des racines montrent que les impacts salinité ($P=0.000$) et bentonite ($P=0.0001$) sont très hautement significatives sur l'accumulation de la proline, mais l'effet de l'interaction bentonite-salinité est non significatif ($P=0.51$) (annexe.2 tableaux .3 et 4)

- La réponse de deux variétés de fève vis-à-vis cette contrainte s'est traduite par une accumulation importante de la proline au niveau de la partie aérienne comparativement à la partie racinaire.

-Sur le plan variétale *Reine mora* L accumule plus de proline que *Semilla violeta* L. cela est dû à leur différence variétale qui confère à chacune des caractéristiques propres, lui permettent de réagir au stress salin et de s'adapter à des situations nouvelles. La présence de stress abiotiques provoque une accumulation de proline (Djerroud *et al*, 2010) et permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes et la proline semble jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosol-vacuole et de régulation du pH (Ottow *et al.*, 2005).

-La teneur en proline dans la partie aérienne de la plante atteint son maximum à la dose saline de 60 mMol.L^{-1} dans les substrats sableux traités à 7 et 10% de bentonite, cette forte accumulation est due d'une part à la forte dose saline et d'autre part à la nature sodique de l'argile très riche en sodium provoquant une augmentation de la pression osmotique dans la solution du sol ce qui explique la forte concentration de la proline pour répondre au stress salin. Les résultats trouvés concordent avec ceux d'El Midaoui *et al*, 2007 qui confirme que l'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence.

- Contrairement aux substrats sableux traités à 7 et 10%, la teneur en proline est moins importante dans les sols amendés à 5% de bentonite ce qui explique l'effet régulateur de la pression osmotique à cette dose d'argile.

-D'après les résultats trouvés, la dose saline de 20 mMol.L^{-1} ne déclenche aucun stress salin car la conductivité électrique n'atteint pas le seuil de la salinité (4 M mho.cm^{-1}).

V.3. Paramètres hydriques

V-3-1 Teneur en eau relative (RWC)

a) Variété *Semilla violeta* L

- **Sans traitement à la bentonite**

Les résultats obtenus dans les substrats sans traitement à la bentonite, montrent que la teneur relative en eau dans les feuilles de la plante diminue proportionnellement avec la concentration saline (figure.10). La diminution est beaucoup plus importante à la concentration saline de 60 mMol.L⁻¹ où elle atteint un optimum de 63.65% d'eau.

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur la teneur relative en eau des feuilles est hautement significatif, à différents traitements salins par rapport aux feuilles non traitées aux sels (plantes témoins) (tableau.12).

- **À 3% de bentonite**

La teneur en eau dans les feuilles des plantes stressées à la salinité diminue nettement dans les substrats sableux traités à 3% de bentonite, on note une légère augmentation de la teneur en eau dans les plantes stressées à 40 mMol.L⁻¹ comparativement aux cultures traitées à 20 mMol.L⁻¹, mais l'eau diminue significativement lorsque les plantes reçoivent des solutions salines de 60 mMol.L⁻¹ soit 33.87 % d'eau (figure 10). L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur les teneurs relatives en eau est significatif à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹ par rapport aux lots témoins (tableau.12).

- **À 5% de bentonite**

D'après les résultats obtenus (figure. 10), l'addition de 5% de bentonite au substrat sableux a amélioré significativement la teneur en eau dans les feuilles stressées par rapport aux précédents traitements à la bentonite. Il faut noter également que la dose saline de 60 mMol.L⁻¹ présente la diminution la plus importante en eau relative dans les feuilles de la plante.

L'analyse statistique de Student à P=5% sur l'effet du stress salin sur la teneur relative en eau montre que le sel à ces concentrations salines appliquées ne provoque aucune perte de réserve hydrique dans les feuilles de la fève (tableau.12).

- **À 7% de bentonite**

Les résultats obtenus à 7 % de bentonite indiquent que les feuilles n'ayant subi aucun traitement salin retiennent 71.60 % d'eau, cette teneur diminue significativement dans les feuilles des plantes traitées à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹ avec une valeur atteignant jusqu'à 37.64 % d'eau. La teneur en eau est beaucoup plus élevée dans les substrats stressés à 40 mMol.L⁻¹ comparativement à la dose saline de 20 mMol.L⁻¹ (figure 10).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur la teneur relative en eau est hautement significatif aux doses salines de 20 et 60 mMol.L⁻¹ par rapport aux lots témoins (tableau.12).

- **À 10% de bentonite**

L'adjonction de 10% de bentonite au substrat sableux induit une nette diminution de la teneur en eau par rapport aux précédents traitements à la bentonite (0, 3,5 et 7%), cette diminution est beaucoup plus importante dans les feuilles des plantes soumises aux doses salines de 40 et 60 mMol.L⁻¹ (35 et 28.43% respectivement) (figure 10).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur les teneurs relatives en eau est significatif aux doses salines de 40 et 60 mMol.L⁻¹ par rapport aux lots témoins (tableau.12).

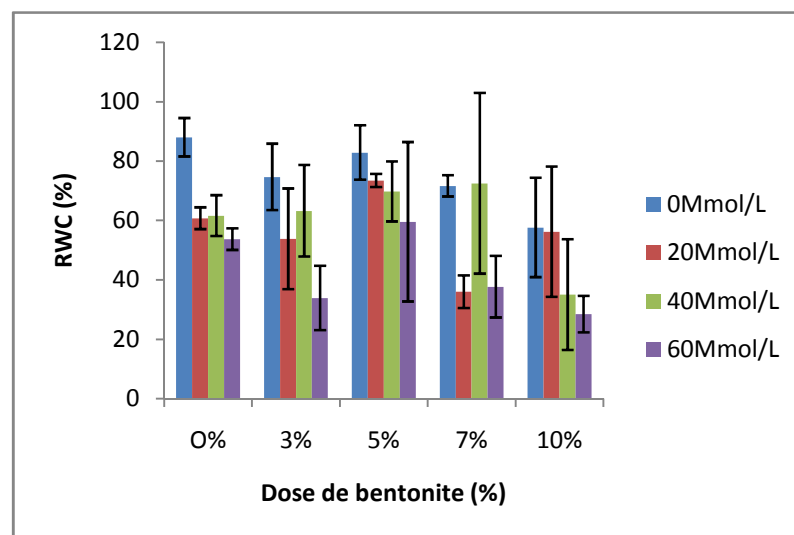


Fig.10 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur relative en eau de la variété *Semilla violeta* L.

Tableau. 12 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur relative en eau (RWC) en % de la variété *Semilla violeta* L stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (%)	Dose des sels en mMol.L ⁻¹	RWC (%)
0	0	87,96±6,45
	20	60,71±3,67 **
	40	61,59±6,87 **
	60	53,65±3,63 **
3	0	74,62±11,19
	20	53,78±16,93 NS
	40	63,20±15,41 NS
	60	33,87±10,85 *
5	0	82,83±9,16
	20	73,413±2,20 NS
	40	69,719±10,1 NS
	60	59,506±26,83 NS
7	0	71,6±3,58
	20	35,962±5,52 **
	40	72,499±30,42 *
	60	37,647±10,36 **
10	0	57,604±16,72
	20	56,183±21,92 NS
	40	35,004±18,66 *
	60	28,431±6,12 *

NS : Non significatif ** : hautement significatif * : Significatif

b) Variété *Reine mora* L.

• Sans traitement à la bentonite

Dans le substrat sans bentonite, l'évolution de la teneur relative en eau est proportionnelle aux doses salines appliquées à la plante. Le niveau d'eau le plus faible est enregistrée à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹ soit une perte de 43.22% d'eau par rapport aux feuilles de la plante témoin (figure 11).

L'analyse statistique de Student à P=5% par rapport aux plantes témoins, montre que l'effet du stress salin sur la teneur relative en eau est significatif aux doses salines de 40 et 60 mMol.L⁻¹ (tableau.13).

• À 3% de bentonite

Comparativement aux substrats sableux non amendés en bentonite qui montrent une teneur assez importante en eau, les sols sableux amendés à 3% en bentonite accumulent moins d'eau, il est noté que le taux le plus élevé en eau relative coïncide

avec les plantes non stressés soit 58.57% d'eau. Par contre La teneur relative en eau la plus faible est enregistrée à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹ soit 29.32% d'eau (figure 11).

L'analyse statistique de Student à P=5% par rapport aux plantes témoins, montre que l'effet du stress salin sur les teneurs relatives en eau est significatif à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹ (tableau.13).

- **À 5% de bentonite**

La teneur en eau relative dans les plantes témoins (sans sel) est moins importante dans les substrats sableux à 5% de bentonite comparativement aux sols traités à 3% de bentonite. On note une nette diminution d'eau dans les plantes stressées aux sels à 40 et 60 mMol.L⁻¹. Par contre la dose saline de 20 mMol.L⁻¹ présente une très légère augmentation de la teneur en eau relative correspondant à une conductivité électrique inférieure à 4 μ simens.cm⁻¹ (figure 11).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin est non significatif sur la teneur relative en eau (tableau.13).

- **À 7% de bentonite**

L'addition de 7% de bentonite aux substrats sableux et l'application du stress salin ont réduit fortement la teneur en eau relative en comparaison avec les plantes stressées dans les sols traités à 5% de bentonite. L'évolution de la teneur en eau est inversement proportionnelle à l'application du stress salin. La perte d'eau la plus importante est enregistrée à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹(figure 11).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur la teneur relative en eau est non significatif sur le bilan hydrique (tableau.13).

- **À 10 % de bentonite**

Les résultats obtenus à 10 % de bentonite indiquent que les feuilles n'ayant subi aucun traitement salin retiennent 72.85 % d'eau. Cette teneur en eau diminue significativement dans les feuilles des lots traités à la salinité. On note la diminution la plus importante de 31.00% d'eau à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹. La concentration saline de 20 mMol.L⁻¹ coïncide avec une légère élévation de la teneur en eau relative qui correspond à une conductivité électrique inférieure à 4 μ simens.cm⁻¹ (figure 11).

L'analyse statistique de Student à P=5% par rapport aux plantes non stressées montre que l'effet du stress salin sur la teneur relative en eau est hautement significatif à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹ (tableau.13).

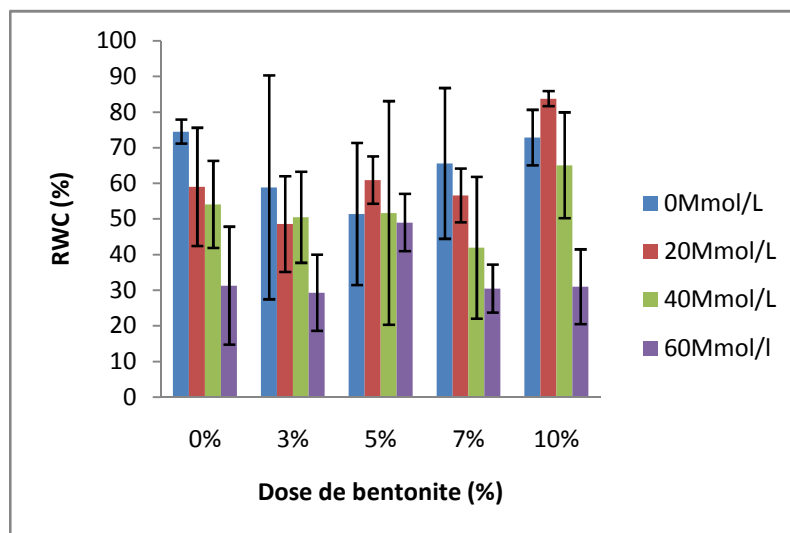


Fig.11 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur relative en eau de la variété *Reine mora L.*

Tableau .13 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur relative en eau (RWC) en % de la variété *Reine mora L.* stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (%)	Dose des sels en mMol.L ⁻¹	RWC (%)
0	0	74,52±3,37
	20	59,03±16,59 NS
	40	54,11±12,20 *
	60	31,30±16,55 *
3	0	58,87±31,41
	20	48,56±13,42 NS
	40	50,49±12,78 NS
	60	29,32±10,70 NS
5	0	51,41±19,94
	20	60,93±6,62 NS
	40	51,70±31,37 NS
	60	49,00±8,03 NS
7	0	65,60±21,14
	20	56,61±7,53 NS
	40	41,93±19,86 NS
	60	30,48±6,76 NS
10	0	72,85±7,79
	20	83,78±2,09 NS
	40	65,08±14,84 NS
	60	31,00±10,47 **

NS : Non significatif ** : hautement significatif * : Significatif

V-3-2 Déficit hydrique

a) Variété *Semilla violeta* L.

- **Sans traitement à la bentonite :**

L'évolution du déficit hydrique durant une semaine du stress salin chez *Semilla violeta* L montre que le déficit en eau dans les feuilles des plantes dans le substrat sans bentonite est proportionnelle avec les doses salines appliquées. Le déficit hydrique dans le sol sans sel (témoin), indique un taux de 18.28 %, mais dès que les plantes reçoivent des solutions salines de 20 mMol.L⁻¹, le déficit en eau augmente d'une manière significative à 48.17 % et passe à 51.33 % (40 mMol.L⁻¹). On note une très légère diminution du déficit hydrique des feuilles à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹(figure 12).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur le déficit en eau révèle des effets hautement significatifs chez les plantes stressés à des différentes doses salines par rapport aux lots témoins (tableau.14).

- **À 3 % de bentonite**

Comparativement au sol sans traitement à la bentonite, le stress salin provoque une réaction croissante du déficit hydrique dans les feuilles de la plante chez le substrat à 3% de bentonite. Dans le milieu sans sel le déficit hydrique atteint 30.56%. La dose saline de 60 mMol.L⁻¹ présente le taux plus élevé en déficit hydrique avec une valeur de 80.06 %. Par contre la dose de 40 mMol.L⁻¹ révèle une légère diminution du déficit hydrique par rapport à la dose de 20 mMol.L⁻¹ (figure 12).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur le déficit en eau révèle un effet hautement significatif à la dose saline de 60mMol.L⁻¹ par rapport aux sujets témoins (tableau.14).

- **À 5 % de bentonite**

Dans le substrat traité à 5% de bentonite, le déficit hydrique des feuilles de la plante augmente proportionnellement avec l'application du stress salin mais reste moins important par rapport au sol amendé à 3% de bentonite. Le taux le plus élevé du déficit en eau est enregistré à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹ (figure 12).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur le déficit en eau est non significatif par rapport aux plantes témoins (tableau.14).

- **À 7 % de bentonite**

Dans les plantes cultivées dans les sols à 7% de bentonite, le régime du déficit en eau des feuilles de la plante augmente avec l'importance du stress salin. Le déficit hydrique s'élève à 68.04 % à la dose saline de 20 mMol.L⁻¹, soit deux fois plus que chez le témoin. La dose saline de 40 mMol.L⁻¹ ne déclenche pas le stress salin par rapport à la dose saline de 20 mMol.L⁻¹. Le taux le plus élevé du déficit en eau est enregistré à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹, soit 70.38 % de déficit en eau (figure 12).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur le déficit en eau est hautement significatif à 20 et 60 mMol.L⁻¹ par rapport aux plantes témoins (tableau. 14).

- **À 10 % de bentonite**

Le déficit hydrique de la plante le plus élevé est enregistrée aux doses salines de 40 et 60 mMol.L⁻¹. Par contre le sol sans stress salin (témoin) présente le déficit hydrique le plus faible dans les feuilles de la plante (figure 12).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur le déficit en eau est significatif à 60 mMol.L⁻¹ par rapport aux plantes témoins (tableau. 14).

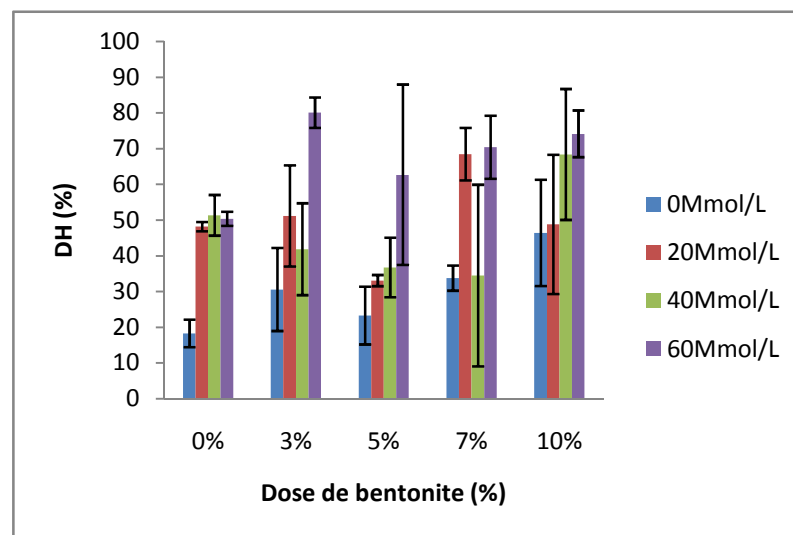


Fig.12 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur le déficit en eau (DH) de la variété *Semilla violeta* L.

Tableau .14 Test statistique de signification de Student (P= 5%) du déficit hydrique en (%) de la variété *Semilla violeta* L. stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (%)	Dose des sels en mMol.L ⁻¹	Déficit en eau (%)
0	0	18,28±3,84
	20	48,17±1,3 **
	40	51,33±5,68 **
	60	50,36±1,95 **
3	0	30,56±11,61
	20	51,13±14,14 NS
	40	41,84±12,85 NS
	60	80,06±4,25 **
5	0	23,26±8,08
	20	33,05±1,56 NS
	40	36,73±8,33 NS
	60	62,67±25,24 NS
7	0	33,76±3,52
	20	68,45±7,35 **
	40	34,47±25,42 NS
	60	70,38±8,82 **
10	0	46,4±14,88
	20	48,80±19,48 NS
	40	68,36±18,31 NS
	60	74,13±6,53 *

NS : Non significatif ** : hautement significatif * : Significatif.

b) Variété *Reine mora* L.

- **Sans traitement à la bentonite :**

Le déficit hydrique dans les feuilles de la fève croit au fur et à mesure que les solutions salines appliquées dans le substrat sableux sans amendement en bentonite augmentent. Le déficit en eau le plus élevée est enregistré dans les feuilles des plantes qui reçoivent une concentration saline de 60 mMol.L⁻¹ soit 70.46 % de déficit hydrique (figure 13).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur le déficit en eau est hautement significatif aux doses salines de 20, 40 et 60 mMol.L⁻¹ par rapport aux plantes témoins (tableau. 15).

- **À 3 % de bentonite**

Dans le sol amendé à 3% de bentonite, le déficit hydrique augmente dans les plantes témoins comparativement au substrat sableux sans traitement à la bentonite, mais lorsque les plantes reçoivent des solutions salines de 20 et 40 mMol.L⁻¹, ce déficit

hydrique devient relativement moins important que chez le témoin. Cette diminution de perte en eau peut s'expliquer par le fait que la présence d'argile dans le substrat sableux favorise la rétention d'eau pour la plante d'une part, d'autre part l'absorption des ions sodium que contiennent les solutions salines appliquées réduisent la pression osmotique dans la solution du sol. Le déficit en eau le plus important est enregistré dans les feuilles des plantes recevant une concentration saline de 60 mMol.L^{-1} soit 79.45% de déficit hydrique (figure 13).

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur le déficit en eau est non significatif par rapport aux plantes témoins (tableau. 15).

- **À 5 % de bentonite**

On note une nette amélioration de la réserve hydrique à 5% de bentonite par rapport aux traitements précédents (figure.13). La dose de 20 mMol.L^{-1} ne déclenche pas le stress salin car la conductivité électrique ne dépasse pas 4 Mmho .cm^{-1} . La grande capacité de rétention en eau est due à la présence de la bentonite et à l'absorption des ions sodium par l'argile. Notant également une légère diminution du déficit en eau dans les feuilles des plantes qui reçoivent 60 mMol.L^{-1} mais ce déficit hydrique reste toujours élevé par rapport au plantes témoins.

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur le déficit en eau est non significatif par rapport aux plantes témoins (tableau. 15).

- **À 7 % de bentonite**

Dans les sols à 7 % de bentonite, on observe en général une augmentation importante et graduelle du déficit hydrique en fonction de l'intensité du stress salin. Enfin pour la dose saline de 60 mMol.L^{-1} Le déficit hydrique est le plus élevé soit un taux 70,47 % de perte d'eau (figure 13).

Ces conditions salines ne produisent aucun effet statistique sur le déficit hydrique par rapport à la plante témoin (tableau. 15).

- **À 10 % de bentonite**

. Il est noté une réduction conséquente du déficit hydrique dans le substrat sableux amendé à 10% de bentonite par rapport aux traitements antérieurs de ces sols. La dose de 20 mMol.L^{-1} ne provoque pas le stress salin car la conductivité électrique de 4 Mmho .cm^{-1} ne présente pas un risque de salinité immédiat. Le déficit hydrique devient le plus élevé à la dose saline de 60 soit un taux 69.78% du déficit en eau (figure 13).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur le déficit en eau est hautement significatif à 60 mMol.L⁻¹ par rapport aux plantes qui ne reçoivent aucun traitement salin (tableau. 15).

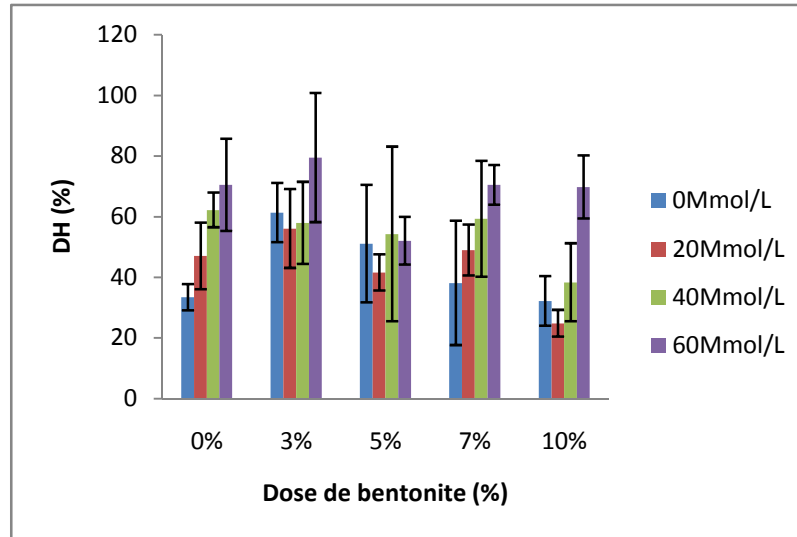


Fig.13 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur le déficit en eau (DH) de la variété *Reine mora L.*

Tableau .15 Test statistique de signification de Student (P= 5%) du déficit hydrique en (%) du variété *Rein mora L.* stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (%)	Dose des sels en mMol.L ⁻¹	Déficit hydrique (%)
0	0	33,42±4,35
	20	47,02±10,99 NS
	40	62,18±5,71 **
	60	70,46±15,17 *
3	0	61,32±9,76
	20	56,06±12,99 NS
	40	57,94±13,53 NS
	60	79,45±21,3 NS
5	0	51,11±19,38
	20	41,63±5,96 NS
	40	54,29±28,78 NS
	60	52,05±7,83 NS
7	0	38,13±20,49
	20	48,99±8,39 NS
	40	59,28±19,07 NS
	60	70,47±6,54 NS
10	0	32,21±8,15
	20	24,84±4,40 NS
	40	38,36±12,84 NS
	60	69,78±10,39 **

NS : Non significatif ** : hautement significatif * : Significatif

c) Discussion

Nous remarquons à travers cette étude que la teneur relative en eau et le déficit hydrique constituent deux indicateurs intéressants, afin d'estimer l'état d'hydratation des plantes de la fève face aux contraintes abiotiques.

L'étude de la relation entre la teneur relative en eau et le déficit hydrique d'une part et le traitement salin et l'adjonction de la bentonite d'autre part montre pour :

- ***Semilla violeta L.***

- L'analyse de la variance (annexe 2 tableau 5.) révèle des résultats très hautement significatifs de l'effet du traitement salin et du facteur bentonite ($P > 0.0001$) sur la teneur relative en eau durant une semaine de stress salin. Néanmoins l'analyse de la variance de l'effet de la bentonite sur le déficit hydrique montre un effet hautement significatif soit une probabilité ($P = 0.001$). Par contre le facteur salinité révèle des effets très hautement significatifs ($P = 0.00$). Cependant l'interaction combinée de la bentonite et la salinité montre un effet significatif ($P = 0.03$).

- ***Reine mora L.***

Le test statistique révèle des résultats très hautement significatifs de l'effet du traitement salin ($P = 0.00$) et du facteur bentonite ($P = 0.00$) sur la teneur relative en eau. L'analyse de la variance au seuil d'une probabilité $P = 5\%$ montre des effets hautement significatifs de la bentonite ($P = 0.007$) et du facteur salinité avec $P = 0.00003$ sur le déficit hydrique. L'effet de l'interaction combinée bentonite et salinité est non significatif sur le déficit hydrique (annexe 2 tableau 6).

Les résultats obtenus chez les deux variétés de la fève, montrent que :

-la teneur relative en eau est inversement proportionnelle au déficit hydrique.

-L'effet du stress salin se traduit par une diminution progressive de la teneur en eau relative dans les feuilles de la plante.

-La dose saline de 60 mMol.L^{-1} provoque une diminution de la teneur relative en eau chez la fève cultivée dans tous les substrats.

-L'adjonction de 7 et 10% la bentonite dans les substrats sableux augmente la réserve en eau dans les feuilles des plantes non stressées en sel. Par contre le contenu relatif en eau diminue significativement aux doses salines de 40 et 60 mMol.L^{-1} . On note une nette amélioration du bilan hydrique des plantes stressées dans les substrats traités à 5% et 3% de bentonite.

-Le déficit hydrique est proportionnel à l'intensité du stress salin, la perte en eau est beaucoup plus importante à la dose saline de 60 mMol.L^{-1} pour tous les substrats amendés en bentonite.

-Le déficit hydrique est faible chez les plantes témoins cultivées dans les sols traités à 7 et 10% en bentonite peut être expliqué par la grande capacité de rétention d'eau ainsi que l'absorption des ions du sodium par l'argile.

- Le déficit hydrique devient important chez les plantes cultivées dans les substrats sableux amendés en bentonite à 7 et 10% et recevant la dose saline de 60 mMol.L^{-1} . Ce qui fait augmenter la pression osmotique.

- La teneur relative en eau est très élevée dans les feuilles de la fève cultivée dans les sols traités à 3% et 5% de bentonite.

-Sur le plan variétal, l'analyse statistique ne montre aucune différence significative de la teneur relative en eau et le déficit hydrique entre la variété de *Semilla violeta* L et *Reine mora* L. Il faut noter que la dose saline de 20 mMol.L^{-1} ne provoque aucun effet significatif du stress salin car la conductivité électrique ne dépasse pas 4 M mho.cm^{-1} . Les travaux de Hassani, 2004 montrent que le stress salin provoque une diminution significative de la teneur en eau dans les feuilles de l'orge.

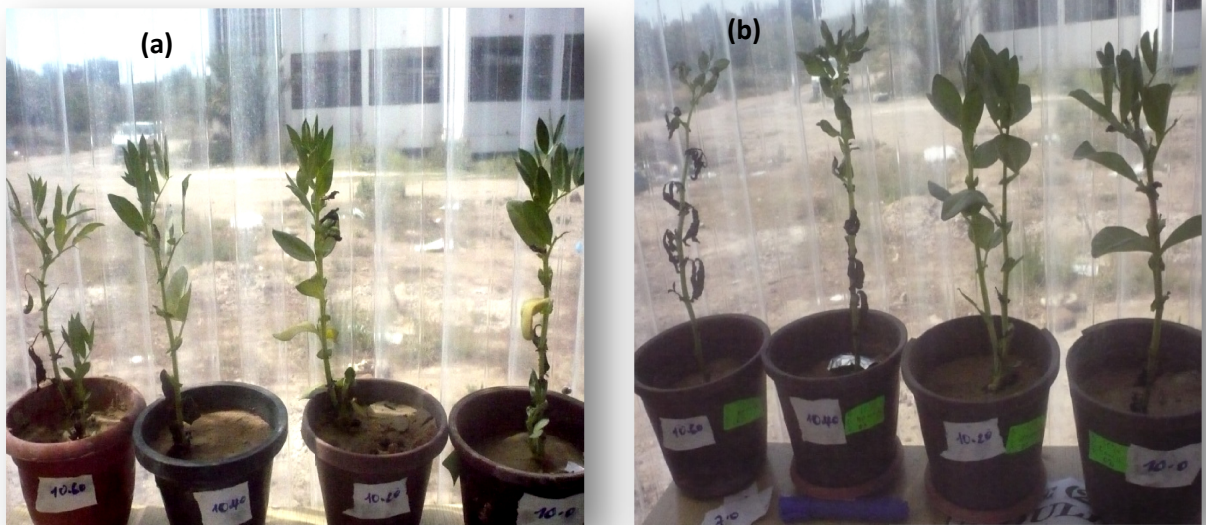


Photo.8 Effet combinée de la salinité et de la bentonite sur la morphologie de la variété *Semella violeta* L. (a) et *Reine mora* L. (b).



Photo.8 Symptomologie de l'effet combiné de la salinité (60Mmol.L^{-1}) et de la bentonite (10%) sur les feuilles de la variété *Reine mora* L.

V.4 Paramètres chimiques

V-4-1 Bilan minéral du sodium et du potassium dans la plante (Partie aérienne et racines)

A-Teneur en sodium

A-1 Variété *Semilla Violeta* L.

- **Sans traitement à la bentonite**

L'addition du composant salin de (NaCl , MgCl_2 et MgSO_4) dans la solution d'irrigation au substrat dépourvu de bentonite charge nettement le taux du sodium dans les racines de la plante. L'accumulation du sodium dans les deux organes étudiés de la variété *Semilla violeta* L augmente proportionnellement avec la dose de la solution saline. Dans la partie aérienne, le traitement témoin (0 mMol.L^{-1}) enregistre un taux de sodium très faible de 58.22 ppm. Par contre le taux de sodium est le plus élevé dans les parties aérienne et racinaire de la plante à la dose saline de 60 mMol.L^{-1} . Néanmoins la teneur en sodium est plus importante dans les racines comparativement à la partie aérienne de la plante (161.29 ppm et 124.01 ppm respectivement) (figure 14). Il est à noter que le niveau du sodium est significativement plus important dans la partie aérienne par rapport au système racinaire (annexe 3 tableau 40).

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du sodium est hautement significatif à la dose saline 60 mMol.L^{-1} dans les parties aérienne et souterraine. Par contre l'effet du stress salin est significatif aux doses salines de 20 et 40 mMol.L^{-1} respectivement pour les parties aérienne et souterraine par rapport à la plante témoin (tableau. 16).

- **À 3% de bentonite**

La teneur obtenue en sodium dans les deux organes étudiés de la plante dans le substrat sableux amendé à 3 % en bentonite devient moins élevée comparativement au sol sans traitement à la bentonite chez les plantes stressées à 60 mMol.L^{-1} , mais reste beaucoup plus importante par rapport aux plantes non stressées. L'accumulation du sodium évolue proportionnellement avec les doses salines appliquées. La dose saline de 20 mMol.L^{-1} dans les parties aérienne et souterraine ne provoque aucun stress salin car la conductivité électrique ne dépasse pas 4 M mho.cm^{-1} (figure 14). L'effet de la teneur du sodium est beaucoup plus significatif dans le système racinaire par rapport à la partie aérienne (annexe 3 tableau 40).

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du sodium dans les racines est hautement significatif aux doses salines de 40 et 60 mMol.L^{-1} . Néanmoins le stress salin ne provoque aucun effet significatif sur l'accumulation du sodium dans la partie aérienne par rapport au témoin (tableau. 16).

- **À 5% de bentonite**

La concentration du sodium dans le sol enrichi à 5% de bentonite, est moins élevée par rapport aux traitements précédents (0 et 3% de bentonite). Le stress salin de 60 mMol.L^{-1} engendre une teneur très élevée du sodium dans la plante soit 104.27 ppm dans la partie aérienne et la partie souterraine avec 124.01ppm (figure 14). L'étude statistique ne révèle aucune différence significative de l'accumulation du sodium entre la partie aérienne et la partie souterraine de la fève (annexe 3tableau 40).

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du sodium dans les racines est significatif à 20 mMol.L^{-1} et il est hautement significatif aux doses salines de 40 et 60 mMol.L^{-1} . Néanmoins le stress salin ne provoque aucun effet significatif sur l'accumulation du sodium dans la partie aérienne par rapport au témoin (tableau. 16).

- **À 7% de bentonite**

L'amendement du substrat à 7% de bentonite induit une accumulation plus importante du sodium dans les racines et la partie aérienne de la plante par rapport au traitement de 5% de bentonite. On note également que le taux du sodium est proportionnel aux concentrations salines appliquées. La valeur la plus élevée est enregistrée à la dose saline de 60 mMol.L^{-1} . Ces augmentations en sodium sont dues essentiellement à l'effet combiné de la bentonite et des concentrations salines appliquées à la plante (figure 14). L'étude statistique ne révèle aucune différence significative de l'accumulation du sodium entre la partie aérienne et la partie souterraine de la fève (annexe.3 tableau 40).

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du sodium dans la partie aérienne est hautement significatif à la dose saline de 60 mMol.L^{-1} , par contre il est hautement significatif aux doses salines de 40 et 60 mMol.L^{-1} dans la partie racinaire comparativement au témoin (tableau. 16).

- **À 10% de bentonite**

Dans le substrat sableux traité à 10 % de bentonite, Les teneurs obtenues en sodium chez la variété *Semilla violeta* L sont les plus élevées comparativement aux autres traitements de bentonite. La concentration du sodium est proportionnelle aux

doses salines appliquées. Cette augmentation est très conséquente dans les parties aérienne et souterraine de la plante à la concentration saline de 60 mMol.L⁻¹ avec des valeurs maximales allant de 139.36 à 166.77 ppm (figure 14). Les racines accumulent plus du sodium que la partie aérienne de la fève (annexe.3tableau 40).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du sodium dans la partie aérienne est hautement significatif aux doses salines de 20 et 60 mMol.L⁻¹. L'effet du stress salin dans la partie racinaire est hautement significatif aux différentes doses salines par rapport aux témoins (tableau. 16).

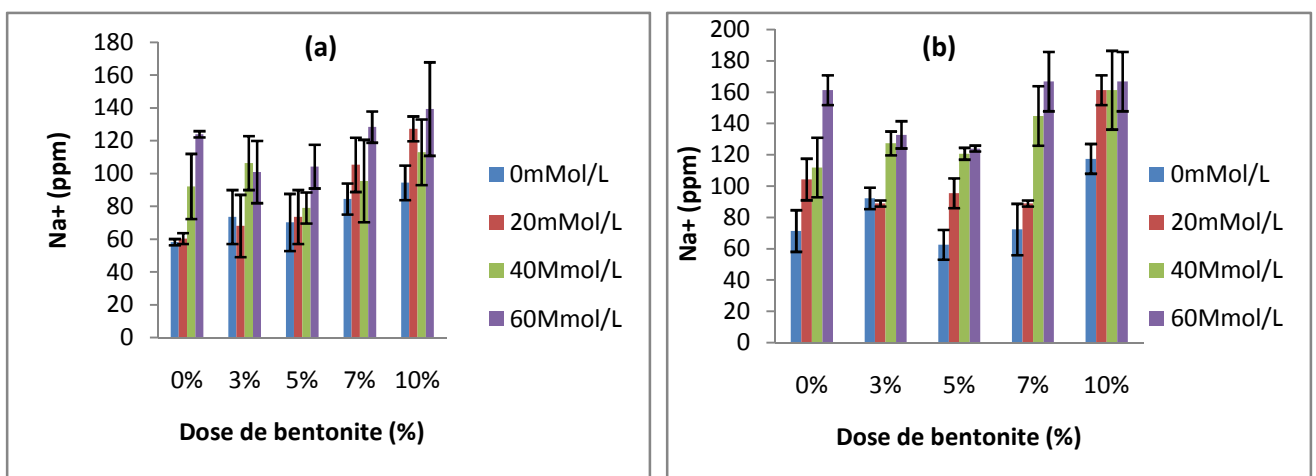


Fig.14: Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur en sodium (ppm) dans les parties aérienne (a) et souterraine (b) de la variété *Semilla violeta L.*

Tableau .16 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur en sodium (ppm) dans les parties aérienne (PA) et souterraine (PS) des plantes de la variété *Semilla violeta* L. stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (%)	Dose des sels en mMol.L ⁻¹	Teneur en sodium (Na ⁺) (ppm)	
		PA	PS
0	0	58,22±1,89	71,38±13,29
	20	60,41±3,29 NS	104,27±13,29 *
	40	92,21±19,82 *	111,95±18,99 *
	60	124,01±1,89 **	161,29±9,49 **
3	0	73,57±16,44	92,21±6,84
	20	68,09±18,99 NS	88,92±1,89 NS
	40	106,47±16,4 NS	127,30±7,59 **
	60	100,98±18,9 NS	132,78±8,70 **
5	0	70,28±17,40	62,61±9,49
	20	73,57±16,44 NS	95,50±9,49 *
	40	79,05±9,49 NS	120,72±3,79 **
	60	104,27±13,20 NS	124,01±1,89 **
7	0	84,54±9,49	72,37±16,38
	20	105,37±16,55 NS	88,92±1,89 NS
	40	95,50±25,12 NS	144,84±18,99 **
	60	128,40±9,49 **	166,77±18,99 **
10	0	94,41±10,57	117,43±9,49
	20	127,30±7,59 **	161,29±9,49 **
	40	113,05±20 NS	161,29±25,12 **
	60	139,36±28,48 **	166,77±18,99 **

PA : Partie aérienne ; PS : Partie souterraine
 NS : Non significatif ** : hautement significatif * : Significatif

A-2 Variété *Reine mora* L.

- **Sans traitement à la bentonite :**

L'addition des sels dans la solution d'arrosage au substrat sableux sans bentonite charge nettement le sodium dans la partie aérienne et souterraine. Le niveau du sodium augmente proportionnellement en fonction du stress salin appliqué. La Concentration en sodium est plus élevée dans les racines (figure 15). Par contre l'étude statistique ne révèle aucune différence significative de l'accumulation du sodium entre la partie aérienne et la partie souterraine de la fève (annexe.3 tableau 41).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur la concentration en sodium dans la partie aérienne est significatif à la dose saline de 40mMol.L⁻¹ et il est hautement significatif à 60 mMol.L⁻¹ par rapport aux plantes témoins. En revanche la partie souterraine révèle des effets significatifs aux concentrations salines de 40 et 60 mMol.L⁻¹ (tableau. 17).

- **À 3% de bentonite**

Par ailleurs, le substrat sableux amendé à 3% de bentonite enregistre une nette augmentation de la teneur en sodium à la dose saline de 60 mMol.L^{-1} par rapport au sol sans traitement à la bentonite. Le taux du sodium évolue proportionnellement avec les concentrations salines dans les parties aérienne et souterraine. On note que la dose saline de 20 mMol.L^{-1} ne déclenche aucun stress salin dans les racines de la plante (figure 15). L'étude statistique ne révèle aucune différence significative de la concentration en sodium entre la partie aérienne et les racines de la fève (annexe 3tableau 40).

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du sodium dans les parties aérienne et souterraine est significatif à la dose saline de 60 mMol.L^{-1} par rapport à la plante témoin (tableau. 17).

- **À 5% de bentonite**

Contrairement aux sols amendés à 3% de bentonite, la partie aérienne de la fève dans les substrats sableux enrichis à 5% de bentonite révèle des teneurs très faibles en sodium. En revanche les racines présentent des concentrations les plus élevées chez les plantes stressées à 60 mMol.L^{-1} par rapport aux traitements précédents à la bentonite soit une valeur de 121.60 ppm. On signale également pour les deux organes que l'accumulation du sodium dans la plante est proportionnelle aux doses salines appliquées. La concentration saline de 20 mMol.L^{-1} ne déclenche aucun stress salin (figure 15). Il faut noter que l'étude statistique ne montre aucune différence significative de l'accumulation du sodium entre les parties aérienne et souterraine de la fève (annexe.3tableau 41).

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du sodium dans les parties aérienne et souterraine est significatif à la dose saline de 60 mMol.L^{-1} par rapport à la plante témoin (tableau. 17).

- **À 7% de bentonite**

L'application du stress salin dans le substrat sableux à 7% de bentonite a engendré des teneurs très élevées en sodium dans la partie aérienne de la plante par rapport aux traitements précédents à la bentonite. Néanmoins le taux du sodium dans les racines de la fève apparaît très faible par rapport au traitement de 5% de bentonite. La concentration en sodium la plus élevée est enregistrée à la dose saline de 60 mMol.L^{-1} , soit 130.59 et 183.88 ppm du sodium respectivement pour les parties aérienne et souterraine de la plante (figure 15). Il faut remarquer que l'étude statistique

ne montre aucune différence significative de l'accumulation du sodium entre la partie aérienne et souterraine de la fève (annexe.3tableau 41).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du sodium dans les parties aérienne et souterraine de la plante est significatif à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹ par rapport à la plante témoin (tableau. 17).

- **À 10% de bentonite**

Un fort traitement en argile de 10%, enregistre une augmentation importante de teneur en sodium par rapport aux autres traitements de bentonite. La partie aérienne enregistre des valeurs allant de 95.50 ppm (sans sel) à 117.43 ppm (forte concentration saline). En parallèle, les racines accumulent plus de Na⁺ que la tige et les feuilles avec une teneur qui oscille entre 111.95 et 183.23 ppm entre le témoin et 60 mMol.L⁻¹ (figure 15).

Le teste de Student (P=5%) de l'effet de la salinité sur la teneur en sodium a apparu significatif à tous les traitements salins par rapport aux témoins. L'effet est hautement significatif dans les racines à 20 et 40 mMol.L⁻¹., significatif à 60 mMol.L⁻¹.

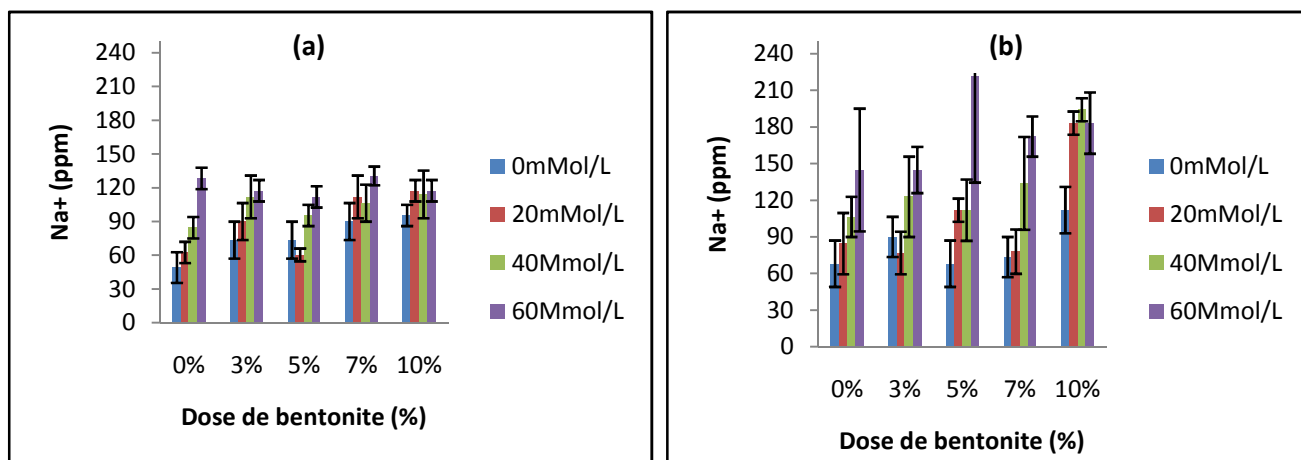


Fig.15 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur en sodium (ppm) dans les parties aérienne (a) et souterraine (b) de la variété *Reine mora L.*

Tableau. 17 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur en sodium dans les parties aérienne (PA) et des racines (PS) des plantes de la variété *Reine mora L.* stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (%)	Dose des sels en mMol.L ⁻¹	Teneur en sodium (Na ⁺) (ppm)	
		PA	PS
0	0	49,23±13,67	68,09±18,99
	20	62,61±9,49 NS	84,54±25,12 NS
	40	84,54±9,49 *	106,47±16,44 *
	60	128,40±9,49 **	144,84±50,24 *
3	0	73,57±16,44	90,02±16,44
	20	90,02±16,44 NS	76,86±17,40 NS
	40	111,95±18,99 NS	122,91±32,89 NS
	60	117,43±9,49 *	144,84±18,99 *
5	0	73,57±16,44	68,09±18,99
	20	60,41±5,69 NS	111,95±9,49 *
	40	95,50±9,49 NS	111,95±25,12 NS
	60	111,95±9,49 *	121,60±87,03 *
7	0	90,02±16,44	73,57±16,44
	20	111,95±18,99 NS	77,96±18,11 NS
	40	106,47±16,44 NS	133,88±37,98 NS
	60	130,59±8,27 *	172,26±16,44 **
10	0	95,50±9,49	111,95±18,99
	20	117,43±9,49 *	183,22±9,49 **
	40	114,14±21,14 NS	194,19±9,49 **
	60	117,43±9,49 *	183,22±25,12 *

PA : Partie aérienne ; PS : Partie souterraine
NS : Non significatif ** : hautement significatif * : Significatif

B-Teneur en potassium

B-1 Variété *Semilla violeta L.*

• Sans traitement à la bentonite

Il est noté dans le substrat sableux sans bentonite que la teneur en potassium est inversement proportionnelle aux concentrations salines dans les parties aérienne et souterraine de la plante. Le taux du potassium dans la partie aérienne de la fève passe de 70.61ppm chez le témoin à 55.69 ppm à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹, soit une diminution de 14,92 ppm. Par contre les racines enregistrent une diminution conséquente à la concentration saline de 60 mMol.L⁻¹, soit une valeur de 58.98 ppm par rapport au témoin (79.61ppm). La dose saline de 20 mMol.L⁻¹ ne déclenche aucun stress salin (figure 16).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du potassium dans la partie souterraine de la fève est significatif à la dose saline 60 mMol.L⁻¹ par rapport à la plante témoin. Le stress salin ne provoque

aucun effet significatif sur la teneur en potassium dans la partie aérienne de la plante (tableau. 18).

- **À 3% de bentonite**

Dans le sol amendé à 3% de bentonite, Les résultats montrent que la concentration du sel diminue l'accumulation du potassium dans la plante. La moyenne de la teneur en potassium la moins élevée est enregistrée à la dose saline de 60 mMol.L^{-1} , soit 58.68 et 68.55ppm respectivement dans les parties aérienne et souterraine de la fève. L'analyse statistique ne montre aucune différence significative de l'accumulation du potassium entre les racines et la partie aérienne de la plante (figure 16).

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du potassium dans la partie souterraine de la plante est significatif à la dose saline 60 mMol.L^{-1} par rapport à la plante témoin. Le stress salin ne provoque aucun effet significatif sur la teneur en potassium dans la partie aérienne de la fève (tableau. 18).

- **À 5% de bentonite**

La teneur en potassium des parties aérienne et racinaire de la fève cultivée dans le sol à 5% de bentonite est inversement proportionnelle aux concentrations salines. Dans la partie aérienne de la plante, le témoin accumule 70.64 ppm du potassium ; ce taux atteint la valeur minimale de 58.68 ppm à la concentration saline de 60 mMol.L^{-1} . En revanche les racines accumulent plus de potassium comparativement à la partie aérienne de la fève avec une teneur de 106.51ppm chez le témoin et 82.60 ppm à la dose saline de 60 mMol.L^{-1} (figure 16).

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du potassium est non significatif dans les deux parties étudiées de la plante par rapport aux témoins (tableau. 18).

- **À 7% de bentonite**

Les résultats montrent que la concentration en potassium dans la plante est inversement proportionnelle à la concentration du sel. Pour le témoin les teneurs en potassium sont très élevées. On note une augmentation assez importante du potassium de 91,57 ppm pour la partie aérienne et 88,58 ppm pour la partie souterraine de la plante. Par conséquent et comparativement aux autres substrats stressés au sel qui montrent une teneur faible en potassium ; le sol à la concentration saline de 20 mMol.L^{-1} accumule une forte proportion de potassium dans la plante avec une teneur beaucoup plus importante dans la partie aérienne de la fève, soit 88,58 ppm (figure 16).

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du potassium dans les deux organes étudiés de la plante est non significatif par rapport aux témoins (tableau. 18).

• **À 10% de bentonite**

Le substrat sableux enrichi à 10% en bentonite présente des teneurs en potassium inversement proportionnelles aux doses salines. L'accumulation la plus faible en potassium dans la fève est enregistrée à la concentration saline de 60 mMol.L^{-1} . Par ailleurs il faut noter que la dose saline de 20 mMol.L^{-1} ne provoque aucun stress salin (figure 16). La teneur en potassium est très élevée dans les racines comparativement à la partie aérienne de la plante (annexe.3 tableau 41).

L'analyse statistique de Student à $P=5\%$ montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du potassium dans la partie aérienne de la fève est significatif à la concentration saline 60 mMol.L^{-1} par rapport aux témoins. Par contre dans la partie souterraine L'analyse statistique est significative ($P=5\%$) dans les traitements de 40 et 60 mMol.L^{-1} de sels par rapport aux témoins (tableau. 18).

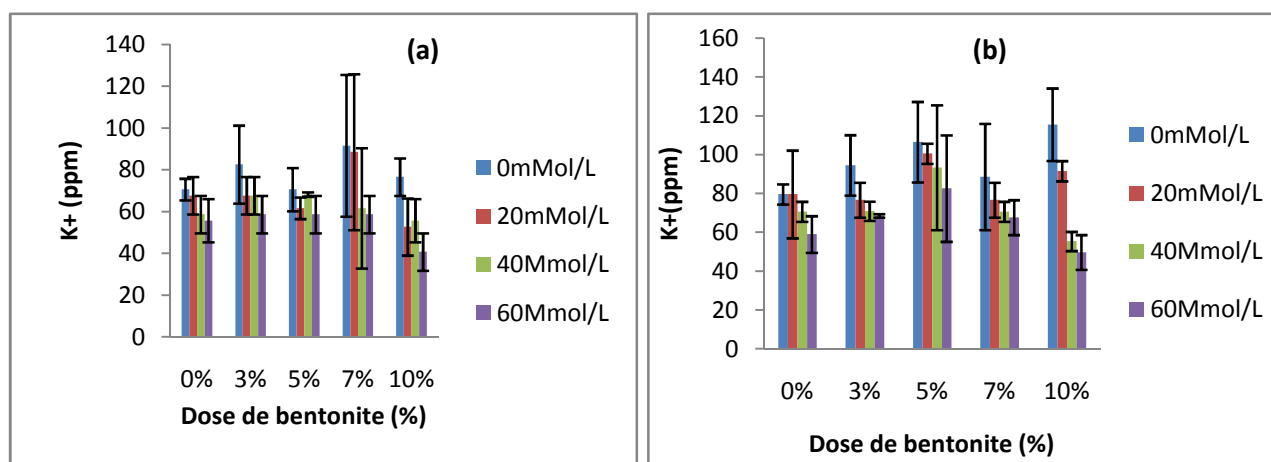


Fig.16 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur en potassium (ppm) dans les parties aérienne (a) et souterraine (b) de la variété *Semilla violeta L.*

Tableau. 18 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur en potassium (K⁺) dans les parties aérienne (PA) et les racines (PS) des plantes de la variété *Semilla violeta* L. stressée pendant ne semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (%)	Dose des sels en mMol.L ⁻¹	Teneur en potassium (K ⁺) (ppm)	
		PA	PS
0	0	70,64±5,17	79,61 ±5,17
	20	67,65±8,96 NS	79,61±22,57 NS
	40	58,68±8,96 NS	70,64±5,17 NS
	60	55,69±10,35 NS	58,98±9,42 *
3	0	82,60±18,67	94,56±15,53 NS
	20	67,65±8,969 NS	76,62±8,96 NS
	40	67,65±8,96 NS	70,94±4,94 *
	60	58,68±8,96 NS	68,55±0,89 NS
5	0	70,64±10,35	106,51±20,71
	20	61,67±5,17 NS	100,54±5,17 NS
	40	68,25±1,03 NS	93,36±32,15 NS
	60	58,68±8,96 NS	82,60±27,4 NS
7	0	91,57±33,95	88,58±27,4
	20	88,58±37,33 NS	76,62±8,96 NS
	40	61,67±28,83 NS	70,64±5,17 NS
	60	58,68±8,96 NS	67,65±8,96 NS
10	0	76,62±8,96	115,48±18,67
	20	52,70±13,7 NS	91,57±5,17 NS
	40	55,69±10,35 NS	55,39±4,94 *
	60	40,74±8,96 **	49,71±8,96 *

PA : Partie aérienne ; PS : Partie souterraine
 NS : Non significatif ** : hautement significatif * : Significatif

B-2 Variété *Reine mora* L.

• Sans traitement à la bentonite

Les plantes non stressées accumulent plus de potassium que les plantes stressées. On constate également que la concentration en sel dans la solution d'irrigation influe inversement sur la teneur du potassium accumulée dans la fève.

Les racines présentent les plus fortes teneurs en potassium comparativement à la partie aérienne de la plante. Le substrat à 20 mMol.L⁻¹ de sel emmagasine des teneurs importantes du potassium par rapport aux autres sols stressés avec des valeurs qui varient entre 64,65 et 76,62 ppm (figure 17).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du potassium dans les parties aérienne et souterraine de la fève est non significatif (tableau.19).

- **À 3% de bentonite**

On note pour le substrat enrichi à 3% de bentonite que les teneurs les plus faibles en potassium sont enregistrées à la dose saline de 60 mMol.L⁻¹, soit 52,70 ppm pour la partie aérienne et 61,97 ppm pour les racines (figure 17).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur la concentration du potassium dans les deux organes de la plante est significatif au traitement salin de 60 mMol.L⁻¹ par rapport au témoin (tableau.19).

- **À 5% de bentonite**

Pour le substrat de culture à 5% de bentonite, les teneurs en potassium sont élevées comparativement aux autres traitements à la bentonite (0, 3,7 et 10%). On constate que l'accumulation du potassium dans la fève diminue au fur et à mesure que le stress salin augmente (figure 17). Il est noté par ailleurs que Les racines retiennent plus du potassium que la partie aérienne de la plante (annexe 3 tableau 42).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du potassium dans les parties aérienne et souterraine de la fève est non significatif (tableau.19).

- **À 7% de bentonite**

Les valeurs du potassium enregistrées dans le substrat à 7% de bentonite sont inversement proportionnelles aux concentrations salines. Les teneurs les plus faibles sont observées à la concentration saline de 60 mMol.L⁻¹ (figure 17).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du potassium dans la partie aérienne de la fève est significatif aux doses salines de 40 et 60 mMol.L⁻¹. Par contre pour les racines, l'effet est significatif aux doses salines de 20,40 et 60 mMol.L⁻¹ par rapport aux lots témoins (tableau.19).

- **À 10% de bentonite**

L'adjonction de 10% de bentonite au substrat sableux a accumulé moins de potassium par rapport aux autres traitements à la bentonite. Les résultats montrent également que l'arrosage de la plante par une solution saline influe négativement sur l'accumulation de potassium. (figure 17) Il est noté que les racines accumulent plus de potassium que la partie aérienne de la fève (annexe 3 tableau 42).

L'analyse statistique de Student à P=5% montre que l'effet du stress salin sur l'accumulation du potassium dans les deux organes de la plante est significatif au traitement salin de 60 mMol.L⁻¹ par rapport au témoin

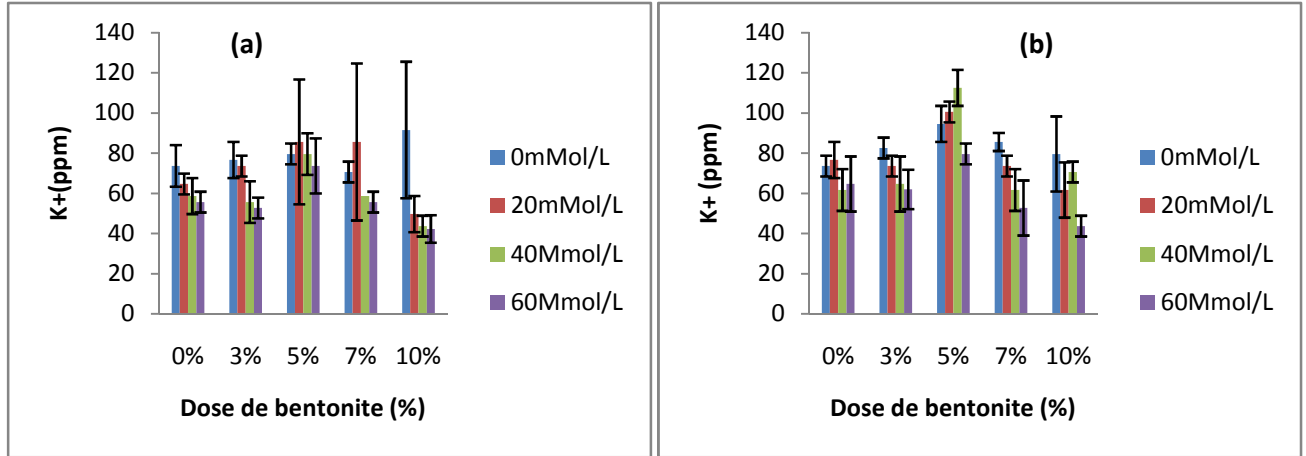


Fig.17: Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur la teneur en potassium (ppm) dans les parties aérienne (a) et souterraine (b) de la variété *Reine mora L.*

Tableau .19 Test statistique de signification de Student (P= 5%) de la teneur en potassium dans les parties aérienne (PA) et des racines (PS) des plantes de la variété *Reine mora* L. stressée pendant une semaine à la salinité et cultivée dans des substrats sableux amendés en bentonite.

Dose de bentonite (%)	Dose des sels en mMol.L ⁻¹	Teneur en potassium (K ⁺) (ppm)	
		PA	PS
0	0	73,63±10,35	73,62±5,17
	20	64,66±5,17 NS	76,62±8,96 NS
	40	58,68±8,96 NS	61,67±10,35 NS
	60	55,69±5,17 NS	64,66±13,7 NS
3	0	76,62±8,96	82,60±5,17
	20	73,63±5,17 NS	73,63±5,17 NS
	40	55,69±10,35 NS	64,66±13,7 NS
	60	52,70±5,17 *	61,97±9,83 *
5	0	79,61±5,17	94,56±8,96
	20	85,59±31,06 NS	100,54±5,17 NS
	40	79,61±10,35 NS	112,49±8,96 NS
	60	73,63±13,7 NS	79,61±5,17 NS
7	0	70,64±5,17	85,59±4,48
	20	85,59±39,09 NS	73,63±5,17 *
	40	58,68±5,17 *	61,67±10,35 *
	60	55,69±33,95 *	52,70±13,7 *
10	0	91,57±8,96	79,61±18,67
	20	49,71±5,17 NS	61,67±13,7 NS
	40	43,73±8 NS	70,64±5,17 NS
	60	42,24±6,85 NS	43,73±5,17 *

NS : Non significatif ** : hautement significatif * : Significatif.

PA : Partie aérienne ; PS : Partie souterraine

C-Etude du ratio K⁺/Na⁺ selon les organes de la plante

C-1 Variété *Semilla violeta* L.

Le rapport K⁺/Na⁺ chez la fève est inversement proportionnel au stress salin pour tous les substrats étudiés. On note que la ration K⁺/Na⁺ dans la partie aérienne devient beaucoup plus importante chez les plantes cultivées dans les substrats sableux sans amendement de bentonite et recevant uniquement la solution nutritive soit 1.21 de la ration. Le quotient K⁺/Na⁺ est supérieur à 1 aux doses salines de 20 mMol.L⁻¹ dans les substrats sableux amendés en bentonite à 3,5 et 7 % .Par contre dans le substrat témoin ,la ration est supérieur à 1 aux concentrations salines de 0 et 20 mMol.L⁻¹ . Le rapport K⁺/Na⁺ le plus faible est enregistré dans le substrat sableux traité à 10% à la bentonite coïncidant avec la concentration saline de 60 mMol.L⁻¹. En revanche la partie racinaire présente les valeurs les plus élevées du quotient K⁺/Na⁺ à la concentration saline de 0 mMol.L⁻¹ dans le sol sableux traité à 5% de bentonite. Le quotient Ka⁺/Na⁺ est supérieur à 1 à la dose saline de 0 mMol.L⁻¹ dans le substrat sableux amendé à 0,3 et 7% de

bentonite. Néanmoins, dans le substrat sableux enrichi à 5% de bentonite, le rapport K^+/Na^+ est supérieur à 1 dans la concentration saline de 0 et 20 $mMol.L^{-1}$. Il est noté que le quotient K^+/Na^+ est très faible chez les plantes cultivées dans le substrat sableux amendé à 10% de bentonite et stressé à 60 $mMol.L^{-1}$ de sels (figure18).

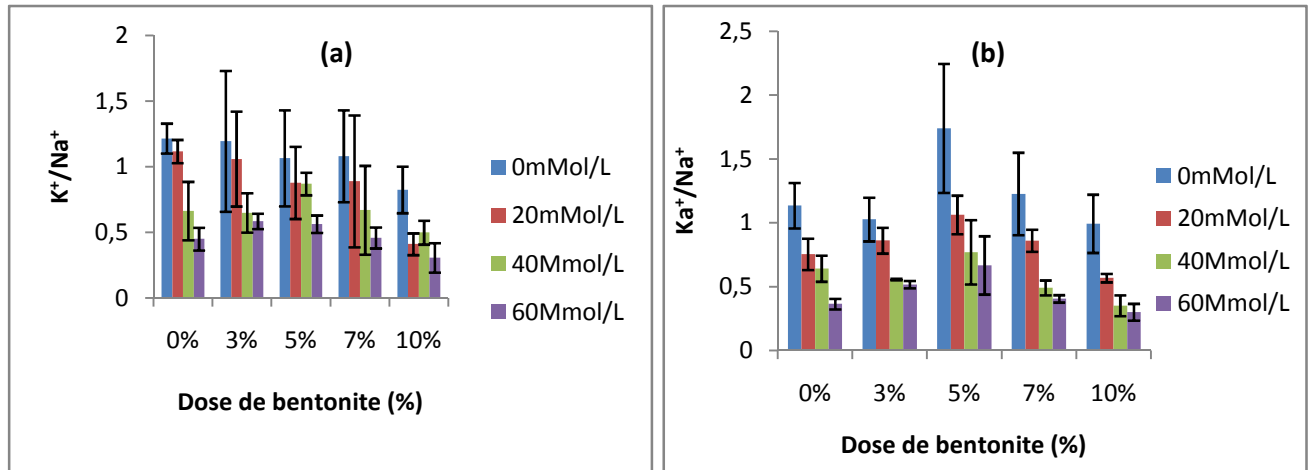


Fig.18 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur le rapport K^+/Na^+ dans les parties aériennes (a) et souterraines (b) de la variété *Semilla violeta L.*

C-2. Variété *Reine mora L.*

Le rapport K^+/Na^+ diminue au fur et à mesure que la concentration saline appliquée à la plante dans les substrats témoins et amendés en bentonite à 0, 3, 5, 7 et 10%. Dans la partie aérienne, le quotient K^+/Na^+ atteint sa valeur maximale aux doses salines de 0 et 20 $mMol.L^{-1}$ dans les sols sableux témoins et traités à 5 % de bentonite. Il est supérieur à 1 aux concentrations salines de 0 et 20 $mMol.L^{-1}$ de dans les substrats sableux à 0 et 5% de bentonite. Par contre le rapport K^+/Na^+ est supérieur à 1 dans le substrat sableux amendé à 3% de bentonite et ne reçoit aucune solution saline. Le traitement du sol à 10% de bentonite et l'application du stress salin de 60 $mMol.L^{-1}$ provoque une nette diminution du rapport K^+/Na^+ et favorise l'accumulation du sodium (Na^+) dans l'organe aérien au détriment de potassium (K^+). Le rapport K^+/Na^+ est le plus élevé dans les racines des plantes cultivées dans le substrat sableux amendé à 5% et recevant uniquement la solution nutritive soit 1.43. Le quotient K^+/Na^+ est supérieur à 1 chez les plantes cultivées dans les substrats sableux témoins (0 % de bentonite) et reçoivent les concentrations salines de 0 et 20 $mMol.L^{-1}$. Il faut noter également que le rapport K^+/Na^+ est supérieur à 1 à la concentration saline de 0 $mMol.L^{-1}$ et 40 $mMol.L^{-1}$ respectivement dans les substrats sableux amendés à 7 et 5% de bentonite. Le rapport K^+/Na^+ le plus

faible est enregistré dans les plantes cultivées dans les substrats sableux traités à 10% de bentonite et stressé à 60 mMol.L⁻¹ de sels (figure19).

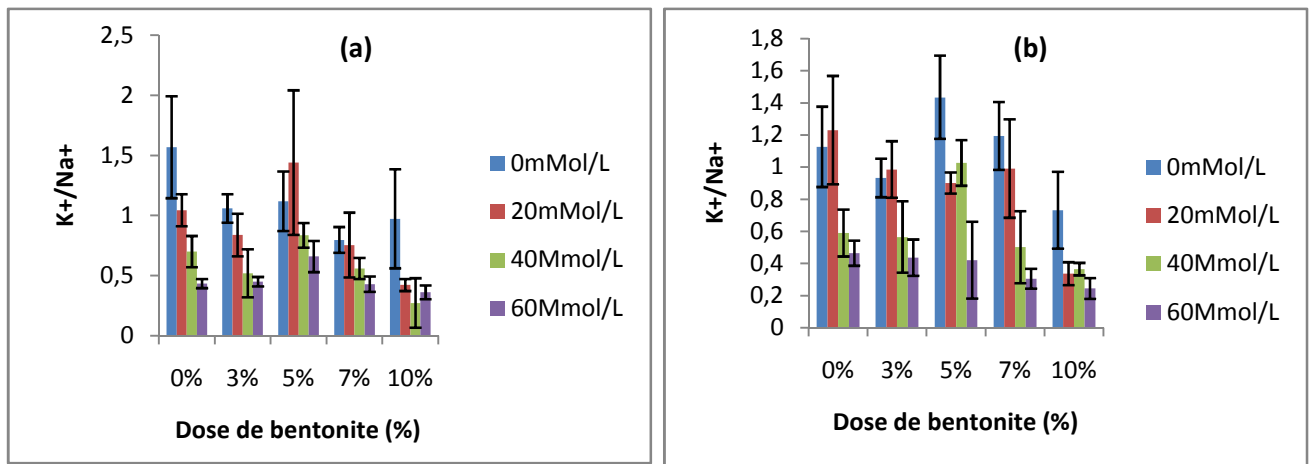


Fig.19 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur le rapport K⁺/Na⁺ dans les parties aériennes (a) et souterraines (b) de la variété *Reine mora L.*

c) Discussion

Les résultats de l'effet combiné du stress salin et de la bentonite sur l'accumulation des ions Na⁺, K⁺ montrent pour :

- ***Semilla violeta L.***

L'effet du traitement salin et du facteur bentonite ($P > 0.0001$) est très hautement significatif sur la teneur en sodium et potassium des parties racinaire et aérienne de la plante. Par contre l'effet est très significatif sur l'accumulation du sodium dans la partie racinaire en comparaison avec la partie aérienne de la plante (annexe.2 tableaux.9 et 10).

- ***Reine mora L.***

L'effet du traitement salin ($P > 0.0001$) et du facteur bentonite ($P > 0.0001$) est très hautement significatif sur la teneur en sodium et potassium (annexe 2) dans les parties souterraine et aérienne de la plante. En revanche l'effet est très significatif sur la teneur du sodium au niveau de la partie racinaire comparativement à la partie aérienne de la culture (annexe.2 tableaux.10 et 11).

L'étude de l'effet combiné de la salinité et de la bentonite chez les deux variétés révèle :

-Une accumulation importante du sodium dans les deux organes étudiés de la plante dans les substrats de culture à 7 et 10% de bentonite coïncidant avec les doses salines de 40 et 60 mMol.L⁻¹

-Par contre on note une diminution du K⁺ à partir de 40 mMol.L⁻¹, L'apport de la solution saline favorise l'adsorption du sodium par rapport au potassium par la plante en induisant un rapport K⁺/Na⁺ très faible, par conséquent il contribue à un déséquilibre nutritionnel. .

-Un équilibre minéral dans les plante dans le substrat traité à 5% de bentonite ce qui engendre un rapport K⁺/Na⁺ très élevé (supérieur à 1). Bachir Bouiadjra, 2008 qui confirme que les substrats traités à 5% de bentonite combinées aux concentrations salines sont les moins contraignantes pour une nutrition minérale équilibrée en sodium (Na⁺) et potassium (K⁺) dans les feuilles et les racines de la fève. La richesse de la bentonite en Ca²⁺ améliore les teneurs en potassium de la plante (Achour et Youcef., 2003). Hasegawa et al., 2000 signale que l'apport du calcium (Ca²⁺) corrige les effets nuisibles de la salinité sur les plantes, vraisemblablement en augmentant le rapport K⁺/Na⁺ (Shabala., 2003).

-L'accumulation du sodium dans les racines et la partie aérienne est très élevée chez la variété *Reine mora* L comparativement à *Semilla violeta* L.

-La dose saline de 20 mMol.L⁻¹ ne déclenche aucun stress salin car la conductivité électrique ne dépasse pas 4 M mho.cm⁻¹ qui est l'équivalent de 40Mmol.L⁻¹ et représente le seuil de tolérance des plantes vis –à-vis le stress salin.

-L'accumulation du sodium est beaucoup plus importante dans la partie racinaire en comparaison avec la partie aérienne de la fève, ce qui confirme leur caractère exclusif vis-à-vis de la teneur élevée en sodium Tal et al, (1978) ; Arahou, (1986) in Boumeza, (2011) et Ullah et al., (1994) ont confirmé une augmentation des teneurs en Na⁺ des feuilles de tomate en présence de sel. Rush & Epstein, (1981) et Schachtman & Munns, (1992) in Boumeza, (2011), ont attribué également l'aptitude des plantes à transporter les ions Na⁺ dans les feuilles avec la tolérance au sel. En outre, il a été montré que certaines plantes tolérantes accumulent l'ion Na⁺ dans les feuilles alors que chez les plantes sensibles comme l'haricot, le Na⁺ n'est pas ou peu transporté vers les feuilles et s'accumule dans les racines (Slama, 1986). En effet, de nombreux auteurs ont montré que la teneur du sodium (Na⁺) augmente dans les plantes stressées alors que le potassium (K⁺) diminue. Mezni et al, 2002 ; Achour, 2005, Benaldj, 2006 ; Ghoulam et al, 2002 ont observé une augmentation du contenu en Na⁺ et Cl⁻ dans les feuilles et les

racines de *Beta vulgaris* à l'égard de l'augmentation de la concentration en NaCl dans les racines.

V-5 Indice de tolérance

a) Variété *Semilla violeta* L.

L'indice de tolérance chez la variété *Semilla violeta* L, se dégrade au fur et à mesure que l'intensité du stress salin augmente. Par contre dans le substrat sableux sans amendement bentonitique à la dose saline de 20 mMol.L⁻¹ l'indice est supérieur à 100%, soit un taux d'élévation de 23.52% par rapport à la plante recevant uniquement la solution nutritive. La valeur la plus élevée de l'indice de tolérance de la fève est enregistrée dans le substrat sableux traité à 5% de bentonite coïncidant avec la dose saline de 20 mMol.L⁻¹, soit 160 % par rapport aux lots témoins. Par contre on note des valeurs beaucoup plus faibles chez les plantes cultivées dans les sols sableux enrichis à 10% de bentonite et stressées en sels à 60 mMol.L⁻¹ (figure 20).

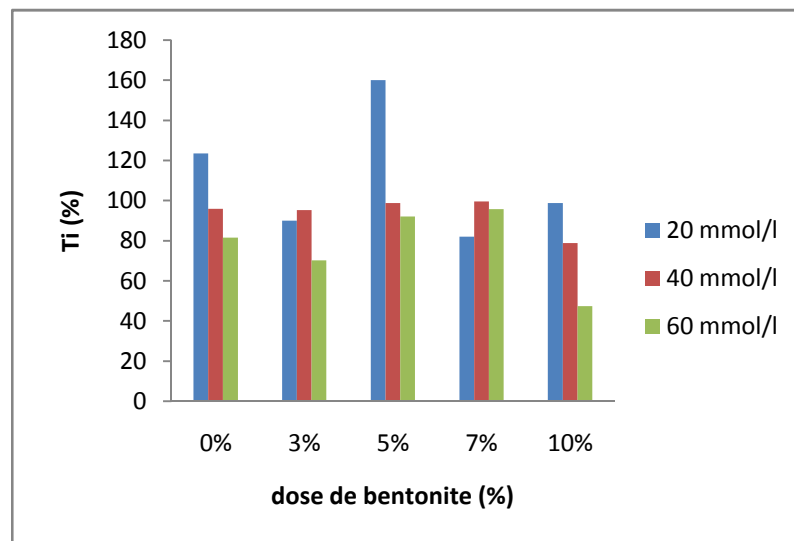


Fig.20 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur l'évolution de l'indice de tolérance de la variété de *Semilla violeta* L.

b) Variété *Reine mora* L.

L'analyse des résultats révèle que l'indice de tolérance chez la variété *Reine mora* L est inversement proportionnel avec les doses salines. Le substrat sableux traité à 5% de bentonite présente des valeurs beaucoup plus importantes par rapport aux autres substrats (0, 3,7 et 10% de bentonite).L'indice le plus élevé est enregistrée chez les plantes cultivées dans le substrat sableux amendé à 5% de bentonite et recevant la dose saline de 20 mMol.L⁻¹, soit un taux d'augmentation de 2% par rapport à la plante

témoin. En revanche l'indice de tolérance de la fève atteint sa valeur minimale à la concentration saline de 60 mMol.L⁻¹ dans les sols sableux enrichis à 10% de bentonite, soit 79.77% par rapport au témoin (figure 21).

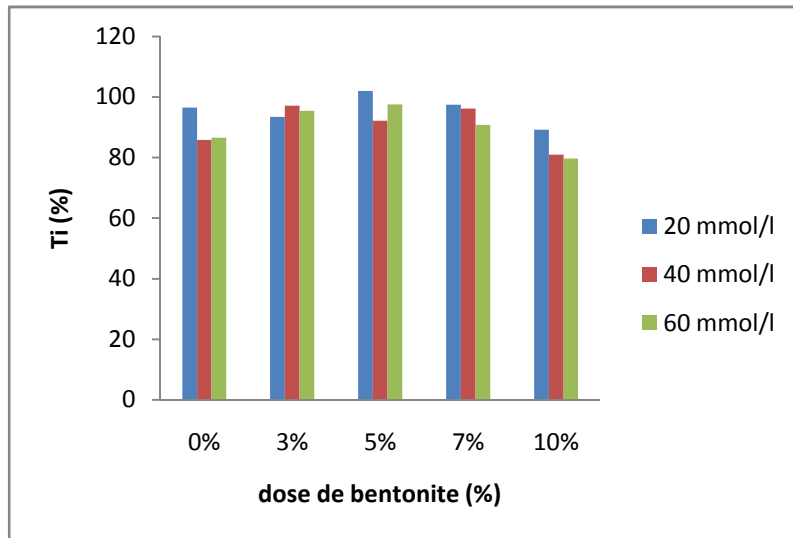


Fig.21 : Effet combiné de la salinité et de la bentonite sur l'évolution de l'indice de tolérance de la variété de *Reine mora L.*

c) Discussion

-L'indice de tolérance permet de comparer la capacité de la fève à pousser dans un milieu de culture stressé en sel, par rapport aux plantes poussant dans un milieu non stressé.

-L'analyse statistique de Student et Fisher de la comparaison entre les moyennes au seuil de signification de P=5%, montre une différence significative entre les deux variétés *Semilla violeta L* et *Reine mora L* ; l'indice de tolérance de *Semilla violeta L* est supérieur à celui de *Reine mora L*. Ce qui explique que *Semilla violeta L* possède des critères de résistance plus performante que la variété *Reine mora L* vis-à-vis de l'action combinée du stress salin et de la bentonite.

- La dose saline de 20 mMol.L⁻¹ chez les deux variétés est supérieure à 100% (témoin), ce niveau de concentration sels ne déclenche aucun stress salin chez la fève.

-L'apport de 5% de bentonite au substrat sableux a nettement amélioré les propriétés physico-chimiques du sol, ce qui explique le niveau le plus élevé de l'indice de tolérance chez les deux variétés dans ces sols comparativement aux sols sableux traités à 7 et 10 % de bentonite.

Discussion et conclusion générale

DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE

Les résultats obtenus mettent en évidence la réponse de deux variétés de fève *Vicia faba* L au stress salin cultivée dans des substrats sableux enrichis ou non par des doses croissantes de bentonite, cette étude a permis de relever les points essentiels suivants :

-L'étude de l'effet de la bentonite sur le taux et la durée de germination montre que la variété *Semilla violeta* L possède un critère de tolérance vis-à-vis aux fortes teneurs en argile jusqu'à 10 % de bentonite.

- Cependant la variété *Reine mora* L enregistre un taux de germination important dans le substrat sableux enrichi à 5% de bentonite .Ce taux reste sensible aux fortes teneurs de bentonite (7 et 10% de bentonite). Selon Benkhelifa ,2007 la bentonite de Mostaganem accroît de manière appréciable la teneur en eau du substrat ce qui se traduit par une augmentation de la teneur en eau des plantes. Hopkins, 2003 rapporte que la première étape de la germination est l'absorption d'eau et la réhydratation des tissus de la graine par imbibition et que l'embryon reprend sa croissance et la graine germe Lorsque les conditions sont favorables. D'après Heller 2004, la germination est caractérisée par une stabilisation de l'hydratation et de l'activité respiratoire à un niveau élevé et qui succède à la phase d'imbibition correspondant à une forte hydratation. L'imbibition dépend, inévitablement de la quantité et la qualité chimique d'eau disponible.

-L'étude de l'effet combiné de la salinité et de la bentonite sur le taux de proline montre une répercussion croissante chez les organes aérien et souterrain des deux variétés de la fève :

-Pour *Semilla violeta* L, les teneurs en proline dans les parties aérienne et souterraine sont corrélées positivement et significativement avec la salinité ($r=0.55^*$) et ($r=0.32^*$) et

-Pour la variété *Reine mora* L la teneur en proline dans l'organe aérien est corrélée positivement et significativement au stress salin ($r=0.44^*$). Par contre, le taux de proline accumulé dans les racines semble faiblement corrélé à la salinité ($r= 0.25$).

-Chez les deux variétés de la fève, le taux de proline augmente chez les plantes cultivées dans les substrats sableux amendés à 7 et 10 % en bentonite. Par contre elle est réduite dans les sols enrichis à 5% de bentonite. Enfin l'accumulation de proline est importante dans la partie aérienne comparativement à la partie racinaire.

- La variété *Reine mora* L accumule plus de proline que *Semilla violeta* L. La présence de stress abiotique provoque une accumulation de proline (Djerroud *et al*, 2010) et permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes et la proline semble jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosol-vacuole et de régulation du pH (Ottow *et al.*, 2005). El Midaoui *et al*, 2007 cite que l'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence.

-La teneur relative en eau et le déficit hydrique dans les feuilles représentent des excellents indicateurs pour estimer l'état d'hydratation des plantes face aux contraintes abiotiques.

-L'effet du stress salin se traduit par une diminution de la teneur en eau chez les deux variétés, ce taux est corrélé négativement et significativement au stress salin soit ($r = -0,57^*$; $r = -0,51^*$) respectivement pour *Semilla violeta* L et *Reine mora* L, le test statistique de Student ne révèle aucune différence significative entre les deux variétés.

-La dose saline de 60 mMol.L^{-1} provoque une diminution de la teneur relative en eau chez la fève cultivée dans tous les substrats.

-L'adjonction de 7 et 10% de bentonite dans les substrats sableux augmente la réserve en eau dans les feuilles des plantes ne recevant aucune solution saline. La fève stressée à 40 et 60 mMol.L^{-1} présente des teneurs en eau significativement faibles. Par contre cette teneur est élevée dans les sols enrichis à 5% et 3% de bentonite comparativement aux substrats sableux à 7 et 10% de bentonite.

-Le déficit hydrique est proportionnel à l'intensité du stress salin, la perte en eau est beaucoup plus importante à la dose saline de 60 mMol.L^{-1} pour tous les sols amendés en bentonite.

-Le déficit hydrique faible chez les plantes témoins dans les sols traités à 7 et 10% peut s'expliquer par la grande capacité de rétention d'eau et l'absorption des ions du sodium par l'argile. Selon Bachir Bouiadjra, 2008 la teneur en eau dans la fève cultivée dans le substrat sableux amendé à 5% de bentonite est très élevée. Des travaux récents ont démontré également que la bentonite de Mostaganem accroît de manière appréciable la teneur en eau du substrat ce qui se traduit par une augmentation de la teneur en eau des plantes (Benkhelifa, 2007).

La salinité est un phénomène complexe comportant un stress osmotique due à la diminution des quantités d'eau dans la rhizosphère (Jagesh *et al.* ,2009), cette salinité provoque une réduction de l'aptitude des plantes à absorber l'eau (Khalova *et al.* ,2009), en entraînant une diminution rapide de la croissance avec des changements métaboliques identiques à ceux observés par le stress hydrique (Munns, 2002).

-La salinité appliquée a provoqué une augmentation significative des teneurs en sodium dans les organes aérien et souterrain des deux variétés de la fève ($r = 0,65^*$ et $r = 0,65^*$) chez *Semilla violeta* L contre ($r = 0,59^*$ et $r = 0,73^*$) chez *Reine mora* L.

-Une accumulation importante du sodium dans les deux organes étudiés de la plante dans les substrats de culture à 7 et 10% de bentonite coïncidant avec les doses saline de 40 et 60 mMol.L⁻¹

-Notons, également, que la plus grande partie de Na⁺ prélevée dans le milieu de culture se retrouve dans la partie racinaire de la fève.

-Les plantes cultivées dans les substrats à 5% de bentonite et stressées à 60 mMol.L⁻¹ accumulent moins de sodium que les plantes cultivées dans les substrats non traités à la bentonite et recevant la même concentration saline.

-L'apport des concentrations croissantes en NaCl, MgSO₄ et MgCl₂ se traduit par une diminution de l'accumulation du potassium dans tous les substrats de culture avec des taux plus élevés dans substrats amendés en bentonite. On note une corrélation significative et négative entre la teneur en potassium dans la partie aérienne et partie souterraine soit ($r = -0,49^*$ et $r = 0,58^*$) et ($r = 0,47^*$ et $r = 0,45^*$) respectivement pour *Semilla violeta* L et *Reine mora* L.

-L'addition de 5% de bentonite au substrat sableux améliore nettement la teneur en potassium pour la fève.

-Le rapport K⁺/Na⁺ très faible dans les plantes stressées en sels à 40 et 60 mMol.L⁻¹ montre que l'adsorption du sodium est supérieur à celle du potassium, en provoquant un déséquilibre nutritionnel dans la plante.

- Le rapport K⁺/Na⁺ est très élevé (supérieur à 1) dans les substrats traité à 5% de bentonite, engendrant un équilibre minéral dans la fève. Bachir Bouiadjra, 2008 confirme que les substrats traités à 5% de bentonite combinées aux concentrations salines sont les moins contraignantes pour une nutrition minérale équilibrée en sodium (Na⁺) et potassium (K⁺) dans les feuilles et les racines de la fève. La richesse de la bentonite en Ca²⁺ améliore les teneurs en potassium de la plante (Achour et Yousef.,

2003). Hasegawa *et al.*, 2000 signale que l'apport du calcium (Ca^{2+}) corrige les effets nuisibles de la salinité sur les plantes, vraisemblablement en augmentant le rapport K^+/Na^+ (Shabala., 2003). Tal *et al.*, (1978) ; Arahou, (1986) *in* Boumeza, (2011) *et* Ullah *et al.*, (1994) ont confirmé une augmentation des teneurs en Na^+ des feuilles de tomate en présence de sel. Rush & Epstein, (1981) et Schachtman & Munns, (1992) *in* Boumeza, (2011), attribuent également l'aptitude des plantes à transporter les ions Na^+ dans les feuilles avec la tolérance au sel. En outre, il a été montré que certaines plantes tolérantes accumulent l'ion Na^+ dans les feuilles alors que chez les plantes sensibles comme l'haricot, le Na^+ n'est pas ou peu transporté vers les feuilles et s'accumule dans les racines (Slama, 1986). En effet, de nombreux auteurs ont montré que la teneur du sodium (Na^+) augmente dans les plantes stressées alors que le potassium (K^+) diminue.

Au cours de notre travail on a essayé de définir l'effet combiné de la salinité et de la bentonite sur deux variétés de l'espèce *Vicia faba* L en conditions contrôlées et dans un temps restreint du stress salin qui n'est pas fiable et utilisable pour les conditions optimales du terrain .Alors il serait plus intéressant de mettre au point une étude approfondie *in situ* pour relever les stratégies de la mise en défend du plateau de Mostaganem.

La variété *Semilla violeta* L montre des caractères de tolérance qui fait d'elle une variété intéressante pour intégrer un programme d'amélioration variétale. D'autres études plus poussées sur cette variété seront indispensables pour l'identification des gènes responsables de la tolérance à la salinité. Il serait encore nécessaire, de procéder à des analyses chimiques plus complètes sur la fève et le substrat sol, pour vérifier l'action conjuguée finale de la salinité et de la bentonite sur la nutrition minérale des plantes afin d'augmenter les rendements de cette culture. Enfin, il conviendra de rechercher l'effet de ces contraintes sur les enzymes et les molécules du système antioxydant de la plante.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ❖ Abdallah mmf. 1979-The origin and evolution of *Vicia faba* L. In Proc.1 et aberrations by X rays and maleic hydrazide in *Vicia faba*. Genetics. 49:17-38.

- ❖ Achour A., 2005 – Bilan minéral et caractérisation des pectines chez l'*Atriplex halimus* stressée à la salinité. Thèse de Magister. Labo d'écophysiologie végétale. Université Es-sénia. Oran.

- ❖ Achour S et Youcef L., 2003- Elimination du cadmium par adsorption sur bentonite sodiques et calcaires. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°02.pp.68-81.

- ❖ Ackerson R.C., Herbert R.R.1981 - Osmorégulation in cotton in response to water stress. I. Alterations in photosynthesis, leaf conductance, translocation, and ultra structure, Plant Physiol. 67: 484–488.Faisalabad 38040, Pakistan.

- ❖ Afnor. 2004. NF T90-327. Soil Quality – Assessment of genotoxic Effects to Higher plants – Micronucleus Test on *Vicia faba*. In: AFNOR, editor. Saint-Denis. p 13.

- ❖ Albouchi A., Sebeï H., Mezni MY., El Aouni MH., 2000- Influence de la durée d'une alimentation hydrique déficiente sur la production de biomasse, la surface transpirante et la densité stomatique d'*Acacia cyanophylla* Lindl. Annales de l'INRGREF, 4: 138 61.

- ❖ Alem C et Amri Ahmed., 2002-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.

- ❖ Alam S.M., 1994 - Nutrient Uptake by plants under stress conditions. In: Pessaraki M., ed. Hand book of plants and crop-stress. New York: Marcel Decker. Inc: 227-246.

- ❖ Albouchi A., Béjaoui Z., Hédi El Aouni M.; 2003-Influence of moderate or severe water stress on the growth of *Casuarina glauca* Sieb. Seedlings. Sécheresse, 14, (3), p. 137 142.

- ❖ Albouchi A., Sebeï H., Mezni MY., El Aouni MH., 2000- Influence de la durée d'une alimentation hydrique déficiente sur la production de biomasse, la surface transpirante et la densité stomatique d'*Acacia cyanophylla* Lindl. Annales de l'INRGREF ,4 : 138-61.

- ❖ Anne-Sophie F.2010-Effets génotoxiques et systèmes de détoxification chez *Vicia faba* (Fabaceae) dans le cadre de l'évaluation des sols pollués. Thèse de doctorat. Université Paul Verlaine – Metz.166P.

- ❖ Ashraf M., Foolad M. R. 2007- Role of glycine betaine and protein in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*. 59. pp 206-216.

- ❖ Aussenac G., Granier A., Ibrahim M., 1984- Influence du dessèchement du sol sur le fonctionnement hydrique et la croissance du douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Acta Oecologica/Oecol Plant*, 5 : p 241-53.

- ❖ Bachir Bouiadjra.A, 2008- Action combinée de la bentonite et la salinité sur le bilan minéral de la fève *Vicia faba* L. Thèse Magister Laboratoire de physiologie végétale, Faculté des sciences, Univ Ess -Sénia, 31 Oran, Algérie.

- ❖ Baker NR., 2002 - A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis, *Physiol. Plant* 81 (1991) 563–570. 46.

- ❖ Balibrea JE., Dell'amico J., Bolarin MC., Perez-Alfocea F., 2000 - Division de carbone et métabolisme de sucrose en plantes de tomate accroissant sous la salinité. *Plant Physiol.*, 110: p 503-511.

- ❖ Barrs C, Weatheley PE (1968) - A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences* 15: 413-428.

- ❖ Becker J and Craig J., 1994- Heat-shock proteins as molecular chaperones. *Eu Biochem* 219 : p.11-23.

- ❖ Belhassen E., This D.Monneveux P., 1995- L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahiers agricultures*; 4: 251-261.

- ❖ Belkhodja M, Benkabilia M., 2000 – Proline response of *faba bean* (*Vicia faba*.L.) under salt stress. *egypt.j.of Agric.Res*, 78, p.185-195.

- ❖ Belkhodja M., Bidai Y., 2004. Réponse des grains d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Séchresse*, 15, (4), p. 331-335.
- ❖ Belkhodja., 1996- Action de la salinité sur le comportement physiologique métabolique chez la fève (*Vicia faba* L.). Thèse doctorat. Université d'Oran. 255p.
- ❖ Ben Nacer, M., Cheikh-M'hamed, H., Maalem, S. et Rahmoune, C. (2005).-Les indicateurs précoces de la tolérance à la salinité 1^{er} Colloque Euro-méditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 Novembre 2005.
- ❖ Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Maddah M., Selmi M. (2001) -Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse* 12 (3) : 167-174.
- ❖ Benachour K ; Louadi K) & Michaël T., 2007- Rôle des abeilles sauvages et domestiques (*Hymenoptera* : Apoidea) dans la pollinisation de la fève (*Vicia faba* L. var. major) (Fabaceae) en région de Constantine (Algérie). *Ann. Soc. entomol. Fr.* (n.s.), pp. 213-219.
- ❖ Benaldj A., 2006 – Bilan minéral chez une halophyte (*Atriplex halimus* L.) stressé à la salinité. Thèse de Magister. Laboratoire de physiologie végétale, Faculté des sciences, Univ. Ess -Sénia, 31 Oran, Algérie.
- ❖ Bendjama Z. 1982- Sorption du mercure par des bentonites algériennes activées, Thèse de Magister en génie – Chimique, E.N.P.
- ❖ Benkhelifa M et Daoud Y., 1998- Influence de la bentonite sur les propriétés physiques d'un sol sableux. *Annales de L'INA- EL Harrach*, Vol 19, N°1 et 2 :18-29.
- ❖ Benkhelifa M., 2007- Influence des conditions salines sur les propriétés physiques des Mélanges sable-bentonite. Conséquences sur le comportement écophysologique de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Thèse doctorat INA-EL Harrach Alger p 138-142.
- ❖ Bennett MD. 1976. -DNA amount, latitude, and crop plant distribution. *Environ. Exp. Bot.* 16 (2-3):93-98, IN1-IN2, 99-108.
- ❖ Bental., 2002- Projet de développement de l'exploitation du gisement d'argiles bentonitiques de Mzila, Wilaya de Mostaganem, Algérie. Documentation BENTAL. Editions EIRéda. 20 p.

- ❖ Béraud E, Cotelle S, Leroy P, Férard J-F. 2007- Genotoxic effects and induction of phytochelatins in the presence of cadmium in *Vicia faba* L roots. *Mutat. Res.-Genet. Toxicol. Environ. Mutag.* 633(2):112-116.

- ❖ Béraud E. 2007. Etude des effets écotoxiques et de l'induction des phytochélatines chez *Vicia faba* (Fabaceae) exposée au cadmium. Application du test Vicia-micronoyaux à des matrices complexes. Metz: Université de Metz. 107 p.

- ❖ Bergman et Loxley.1978 in Belkhodja M et Bidai Y, 2004 Analyse de la proline pour l'étude de la résistance d'une halophyte *Atriplex halimus* L.à la salinité. Lab. de Physiologie Végétale, Facu des Scien, Univ d'Oran Algérie.

- ❖ Berthomieu P ; Conejero G ; Nublat A ; Brackenbury W. J. ; Labert C. Savio C. ; Uozumi N . ; Oiki S. ; Yamada K. ; Cellier F. ; Gosti F. ; Simonneau T. ; Essah P. A. ; Tester M. ; Very A. A. ; setenac h an Casse F. ; 2003-Functionnal analysis of AtHKT 1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *Embo journal* 22 :2004-2014.

- ❖ Bezzala A., 2005- Essai d'introduction de l'arganier (*Argania spinosa* (L) Skeels), dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse. Université El Hadj Lakhdar. Thèse Magister 143p.

- ❖ Binet P., 2005 – La salinité. Phytotron- Gif sur Yvette- 2 –3 Juin, p 14.

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

- ❖ Bleecker A.B and Kende H., 2000 - Ethylene: a gaseous signal molecule in plants.*Annu Rev Cell Dev Biol* 16: p 1–18.

- ❖ Blum A. 1988. *Plant breeding for stress environments*; pp. 163-178. CRC Press, Boca Raton, FL.USA.

- ❖ Bohnert HJ and Jensen RG., 1996 - Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. *Trends in Biotechnology* 14: p 89–97.

- ❖ Bouaouina -S, E. Zid et M. Hajji 2005- Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.).

- ❖ Boukraâ D., 2007 Interaction acide sulfosalicylique et salinité sur la réponse de la praline et des variations minérales chez des plantes juvéniles d' *Atriplex halimus* L. Thèse Magister université d' oran. p87.
- ❖ Boumeza, 2011-Effets de la salinité sur le comportement écophysologique et biochimique d'une culture de pois chiche (*Cicer arietinum* L) au stade juvil. , Thèse Magistère d'Université de Tlemcen.,109 P.
- ❖ Braudeau E, Hachicha M. Guide du suivi de la salinisation des eaux et du sol projet d'irrigation de la basse vallée de la medjerda et de Ras Djebel. Sols de Tunisie. Bulletin de la direction des sols, n° 18. Édit.: Direction des sols. Ministère de l'Agriculture de Tunisie, 1998 ; 249 p.
- ❖ Brinis .A, 2010- Evaluation de la valeur nutritive d'une halophyte, *Atriplex halimus* .conduite sous une contrainte saline. Thèse de Magister. Laboratoire de physiologie végétale, Faculté des sciences, Université d' Es- Sénia, 31 Oran, Algérie.
- ❖ Caillère, S., S. Hénin and M. Rautureau, 1982-"Minéralogie des argiles" Masson, Tomes 1 et 2, 184p et 189p.
- ❖ Carlu J., 1952 -Fèves et féveroles. La rousse agricole, 204 p.
- ❖ Chartzoulakis K., Klapaki G. (2000) - Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hortic.* 86, 247–260.
- ❖ Chen Thh., Murata N., 2002- Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes, current opinion in *Plant Biology*, 5: 250- 257.
- ❖ Chen Z., Pottosin I.I., Cuin T.A., Fuglsang A.T., Tester M., Jha D., Zepeda-Jazo I., Zhou M., Palmgren M.G., Newman I.A. and Shabala S., 2007 - Root Plasma Membrane Transporters Controlling K⁺/Na⁺ Homeostasis in Salt-Stressed Barley. *Plant Physio.* 145: 1714-1725.
- ❖ Chorfi A.2009, contribution à l'étude de la résistance a la salinité chez une variété de blé dur algérien (*triticum durum* desf.) var mohamed ben bachir departement de biologie. universite el hadj lakhdar batna. algerie.scie.tech. p 41-44.

- ❖ Côme D. Les obstacles de la germination. Paris : Masson, 1970 ; 162 p.

- ❖ Cotelle S. 1999-Etude de la génotoxicité de matrices complexes à l'aide de plantes supérieures. Metz: Université de Metz. 179 p.

- ❖ Cramer, G.R. (2000). Sodium-calcium interactions under salinity stress. In: Salinity: Environment - Plants - Molecules. A. Läuchli and U. Lüttge (eds.). In press.

- ❖ Daoud Y et Halitim A., 1994 – Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Rev.Sècheresse, 3 (5) .151-50.

- ❖ De Beake P., Casal M.L., Puech J., 1996- Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. étude en lysimètres. Agronomie, 16 : 3- 23.

- ❖ De Marco A, De Simone C, Raglione M, Lorenzoni P. 1995. Influence of soil characteristics on the clastogenic activity of maleic hydrazide in root tips of *Vicia faba*. Mutat. Res.-Genet. Toxicol. Environ. Mutag. 344(1-2):5-12.

- ❖ Degrassi F, Rizzoni M. 1982. Micronucleus test in *Vicia faba* root tips to detect mutagen damage in fresh-water pollution. Mutat. Res.-Environ. Mutag. Related Subj. 97(1):19-33.

- ❖ Denden M., Bettaieb T., Sahli A., Mathlouthi M. (2005): Effet de la salinité sur des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais du chiendent. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 11(3).235-244.

- ❖ Desclos M., Dubousset L, Etienne P., Caherec F., Hiroyushi S and Avice J., 2008 - A Proteomic Profiling Approach to Reveal a Novel Role of Brassica napus Drought 22 kD/Water-Soluble Chlorophyll-Binding Protein in Young Leaves during Nitrogen Remobilization Induced by Stress ful Conditions. Plant Physiol. 147: p1830-1844.

- ❖ Di Martino C., Delfine S., Pizzuto R., Loreto F and Fuggi A., 2003 - Free amino acids and glycine betaine in leaf osmoregulation of spinach responding to increasing salt stress. New Phytologist 158: p 455–463.

- ❖ Dix PJ., Pearce PS., 1981 - Proline accumulation in NaCl-resistant and sensitive cell lines of *Nicotiana sylvestris*. Z., Pflanzenphysiol Bd; 102 S: p243-248.

- ❖ Djerroudi Z, Belkhodja M, Bissati S, Hadjadj S, 2010-Effet du Stress Salin sur l'accumulation de Proline Chez Deux Espèces d'*Atriplex Halimus L.* et *Atriplex Canescens* (Pursh) Nutt 2010. Jour. Scien. pp 12.

- ❖ Dodd IC, 2003 - Hormonal interactions and stomatal responses. *J. Plant Growth Regul* 22: p32- 46.

- ❖ Drevon JJ, Abdelly C, Amarger N, Aouani ea, Aurag J, Gherbi H, Jebara M, Liuch C, PAYRE H, SCHUMP O, SOUSSI M, SIFI B, TRABELSI M., 2001- An interdisciplinary research strategy to improve symbiotic nitrogen fixation and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris*) in salinised areas of the Mediterranean basin. *J. Biotech.* 91, 257–268.

- ❖ Duan C-Q, Hu B, Jiang X-H, Wen C-H, Wang Z, Wang Y-X. 1999- Genotoxicity of water samples from Dianchi lake detected by the *Vicia faba* micronucleus test. *Mutat. Res.-Fundam. Mol. Mech. Mutag.* 426(2):121-125.

- ❖ Duc G. 1997.-Faba bean (*Vicia faba L.*). *Field Crops Res.* 53:99-109.

- ❖ Du chauffour PH., 1995- Pédologie : sol, végétation, environnement. Masson. Paris, Milan, Barcelone. 350p.

- ❖ El Midaoui M., Benbella M., Aït Houssa A., Ibriz M., Talouizte A. (2007):- Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le Tournesol cultivé (*Helianthus annus L.*). *Revue HTE N° 136*, pp.29-34.

- ❖ El Madidi S et Zivy., 1993- Variabilité génétique des protéines de choc thermique et thermo-tolérance chez le blé. In : le progrès génétique passe t'il par le repérage et l'inventaire des gènes. Edition AUPELF-UREF : p. 173-181.

- ❖ Elferiha .S, 2011- influence de la salinité sur la formation de nodosités chez la fève (*vicia faba l.*) thèse de magister. Université d'Oran Es -Senia .81p.

- ❖ El-Swaify SA, 1983 - Soil and Water Salinity. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa.

- ❖ Engelthaler Z A *et al.*, 1983- Production des métaux non ferreux et leur application dans l'agriculture. ONUDI, Pilsen, Tchécoslovaquie. 163p.
- ❖ Engelthaler Z A *et al.*, 1985- l'explication industrielle complexe de la bentonite ONUDI, Pilsen, Tchécoslovaquie. 78p.
- ❖ Evans HJ, Scott D. 1963. Influence of DNA synthesis on the production of chromatid aberrations by x rays and maleic hydrazide in *Vicia faba*. *Genetics* 49:17-38.
- ❖ Evans LT. 1959. Environmental Control of Flowering in *Vicia faba* L. *Ann. Bot.* 23(4):521-546.
- ❖ FAO. Programme de coopération technique. Programme de développement des productions fourragères et de l'élevage. Rapport de synthèse, 1988 ; 45 p.
- ❖ Feret,B.,1992L'Interactions dans les systèmes montmorillonite/Carboxymethyl cellulose application aux fluides de forage,"Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie .
- ❖ Ferrara G, Loffredo E,Senesi N. 2004. Anticlastogenic, antitoxic and sorption effects of humic substances on the mutagen maleic hydrazide tested in leguminous plants. *Eur. J. Soil Sci.* 55(3):449-458.
- ❖ Finkelstein R., 2002- Abscisic acid signaling in seeds and seedlings. *Plant Cell*, suppl.p 15.
- ❖ Flowers, T.J., Troke, P.F. and Yeo, A.R. (1977). The mechanism of salt tolerance in halophytes.
- ❖ Annual Review of Plant Physiology 28: 89-21.
- ❖ Forges ,1979-Irrigation et salinité Génie Rural à l'E.N.S.H. Versailles .p40-45.
- ❖ Fricke W., Peters W.S., 2002- The biohysics of leaf growth in salt stressed barley. A study at the cell level. *Plant Physiol* 129: 374 - 388.
- ❖ Gallais A, Bannerot H. 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées:objectifs et critères de sélection. Paris: INRA.

- ❖ Genoux C, Putzola F, Maurin G., 1991- Thème général: La Lagune Méditerranéenne. T PE : Les plantes halophytes.
- ❖ Giulivo C., 1986 - Hormonal control of water transport in soil-plant-atmosphere continuum. *Acta Horti* 179: p 385–393.
- ❖ Gorham, J. (1992). Salt tolerance in plants. *Science Progress* 76: 273-285.
- ❖ 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.
- ❖ Grant WF, Owens ET. 2001. Chromosome aberration assays in *Pisum* for the study of environmental mutagens. *Mutat. Res. - Rev. Mut. Res.* 488(2):93-118.
- ❖ Greenway, H. and Munns, R. (1980). Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology* 3: 149-190.
- ❖ Gregory.B., 2005-Écophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique .Thèse de mémoire .Université Lava Canada .Chapitre 1.
- ❖ Guillaume C., 2000 - Salinisation des sols. Processus, causes, effets et gestion des sols salés. INRA.
- ❖ Halilat M T et Tessier D., 2006- Amélioration de la rétention en eau de matériau sableux par l'ajout de bentonite. *Cahiers Agricultures*, Vol. n°4, 347-353.
- ❖ 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.
- ❖ Hamdy A., 1999 - Saline irrigation and management for a sustainable use. In: *Advanced Short Course on Saline Irrigation Proceeding*, Agadir Marocco.152-227.
- ❖ Haouala F., Ferjani H., Ben El Hadj S. (2007): Effet de la salinité sur la répartition espèces ornementales. *Tropicultura*. Vol. 23 N°4, pp220-226.

- ❖ Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K., Bonhert H.J., 2000- plantcellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Mol.BIOL* 51: 463-499.
- ❖ Hassani A, Dellel A, Belkhodja M, Kaid H, 2004- Effet de la Salinité Sur L'eau et Certains Osmolyte Chez L'orge (*Hordeum Vulgare*) ISSN 1450-216X Vol.23 No.1 (2008), pp.61-69.
- ❖ Heller R., Esnault R., Lance C., 2004- *Physiologie végétale*, 1. Nutrition, Paris, 350p.
- ❖ Herzog H., 1984 - Relation of source and sink during grain filling period in wheat a some aspects of its regulation. *Physiol. Plant.*, 56, p. 155-160.
- ❖ Hiller-[1]- Ramage RT. Genetic methods to breed salt tolerance in plants. In Rais DW, Hollaender RW, Hollaender A, eds. *Genetic engineering of osmoregulation*. New York: Plenum, 1980: 311-8.
- ❖ Hoagland D., Arnon DI., 1938- the Water culture method for growing plants soil. *Univer. Calif.AES.cir.347*,1- 36.
- ❖ Hopkins W.G; 2003- *physiologie végétale*, 514 p .
- ❖ INRA., 2002- *Gestion et usages agricoles de l'eau*. Institut National de Recherche Agronomique. Centre de Toulouse.
- ❖ Iptrid. (2006):conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation. P2, 11.
- ❖ IPWA. 2000 – Institute of public works engineering Australia Salinity management.70p.
- ❖ Jagesh K., Tiwari Anilabh D., Munshi Ravinder K., Raghu NP.,Ajay A., Jayant S Bhat., Amish Kumar S., 2009- Effet of Salt stress on cucumber: Na^+/K^+ ratio,osmolyte concentration, phénols and chlorophyll content *Acta Physiol Plant* 32:103–114 DOI 10.1007/s11738-009-0385-1.
- ❖ Jeschke, W.D. (1983). - Cation fluxes in excised and intact roots in relation to specific and varietal differences. *Plant and Soil* 72: 197-212.

- ❖ 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.

- ❖ Kenfaoui A., 1997-La salinité des eaux d'irrigation .Synthèse bibliographique réalisé par les élèves ingénieurs de l'"école nationale du génie rural des eaux et des forets de Montpellier.

- ❖ Khalova J, Sairam r.K, Meena R.C, and Srivastava G.C., 2009- Réponse of maize variétés to salinity stress in relation to osmolyte and métal-ion contents, oxidative stress and antioxidant enzymes activity. *Biologia plantarum* 53 (2): 249- 256.

- ❖ Kolev N., 1976 - Cultures maraîchères en Algérie. (I) FAO, p. 178-186.

- ❖ Koppen G, Verschaeve L. 1996. -The alkaline comet test on plant cells: A new genotoxicity test for DNA strand breaks in *Vicia faba* root cells. *Mutat. Res.- Environ.Mutag. Related Subj.* 360(3):193-200.

- ❖ Kramer PJ., 1980- Drought stress and the origin of adaptation. In: Turner NC, Kramer PJ, eds. *Adaptation of plants to water and hight temperature stress*. New York: Wiley-Interscience,; p. 7-20.

- ❖ Ladizinsky G., 1975 - On the origin of the Broad bean *Vicia faba* L. *Isr. J. Bot.*, 24, p. 80-88.

- ❖ 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.

- ❖ Larcher, 1995. *Physiological Plant Ecology*. 3rd edition. Spinger.

- ❖ Ledig FT., 1981- The influence of genotype and environment on dry matter distribution in plants. In: Huxley PA, ed. *Plant research and agroforestry*, International Council for Research in Agroforestry, Nairobi, p. 427-454.

- ❖ Lemzer, 2007 -Réponse écophysiological de trois espèce de forestières du genre de'Acaciia, Eucalyptus et Shinus soumise à un stress salin., Thèse Magistère d'Université Mentouri Constantine.180P.

- ❖ Leung J and Giraudat J., 1998 - Abscisic acid signal transduction. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 49: 199–222.
- ❖ Levitt J., 1980-Salt and ion stress. In Levitt J. (eds). -Response of plant to environmental stresses. Vol II, water radiation, salt and others stresses. New York: Academic Press, p. 365–406.
- ❖ Lin AJ, Zhang XH, Chen MM, Cao Q. 2007.- Oxidative stress and DNA damages induced by cadmium accumulation. *J. Environ. Sci. (China)* 19(5):596-602.
- ❖ Lovegrove A and Hooley R., 2000 -Gibberellin and abscisic acid signalling in aleurone. *Trends Plant Sci* ; 5: p 102–110.
- ❖ Lu C., Qiu N, Wang B, Zhang J.- 2003 - Salinity treatment shows no effects on photosystem II photochemistry, but increases the resistance of photo system II to heatstress in halophyte *Suaeda salsa*.*Journal of Experimental Botany*,54, (383), p.851-860.
- ❖ Luckham, P. F.and S.Rossi,1999- "Colloidal and rheological properties of bentonite suspensions" *Adv. Colloid Interface Sci.* 82, 43-92.
- ❖ Lutts S, Lefèvre I, Delpéré C, Kivits S, Dechamps C, Robledo A and Correal E.,2004- Heavy metal accumulation by the halophyte species Mediterranean saltbush. *J. Environ. Qual.* 33.
- ❖ Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S., Janardhan Reddy K, 2006-Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. P41-99.
- ❖ Marcato-Romain C-E, Guiresse M, Cecchi M, Cotelle S, Pinelli E. 2009.- New direct contact approach to evaluate soil genotoxicity using the *Vicia faba* micronucleus test. *Chemosphere* 77(3):345-350.
- ❖ 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.
- ❖ Mazliak P., 1995 - Physiologie végétale, nutrition et métabolisme. Ed. HERMAN, Paris, France: p539.

- ❖ Mederbal K., 2000- Problématique de la dégradation du milieu naturel et possibilité d'aménagement .journée mondial de l'environnement. Mascara. Mediterranean Conf. Genet., p. 713-746.
- ❖ Mehdi, 2008-Cours du stress salin, 25P.
- ❖ Meloni D.A., Oliva M.A., Ruiz H.A., Martinez C.A. 2001- Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. J.Plant Nutr. 24, 599–612.
- ❖ Mezni M; Albouchi A ; Bizid E; Hamza M., 2002- Effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la nutrition minérale chez trois Variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa*).Laboratoire de Production Fourragère, INRAT. Laboratoire des Brise-vent et Plantations Rurales, INRGREF.Ariana, Tunisie.
- ❖ Morsli B. 2007- Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols: cas des zones côtières d'Alger Est. Actes des JSIRAUF.
- ❖ Munns R., 2002- Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment, 25: 239-250.
- ❖ Naidoo Y., 2001 - Effects of salinity and nitrogen on the growth, relations of ion and accumulation of proline in the bulbosa of Triglochin.Wetlands Ecol. Manag.9: p 491-497.
- ❖ Nakashima, K., Satoh, R., Kiyosue, T., Yamaguchi-Schinozaki K., and Schinozaki,K. 1998- A gene encoding proline deshydrogenase is not only induced by proline and Hypoosmolarity, but is also developmentally regulated in the reproductive organs of Arabidopsis .Plant Physiol. 118: 1233-41.
- ❖ Ottow E., Brinker M., Fritz E., Teichmann T., Kaiser W., Broche M,Kangasjarvi J, Jiang X, Polle A., 2005 -Populus euphratica Displays Apoptotics Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases in Calcium and Soluble Carbohydrates, and Develops Leaf Succulence under Salt Stress. Plant Physiology, Vol. 139, pp. 1762–1772.
- ❖ Pang J., Cuin T., Shabala L., Zhou M., Mendham N. and Shabala S., 2007- Effect of Secondary Metabolites Associated with Anaerobic Soil Conditions on Ion Fluxes and Electrophysiology in Barley Roots. Plant Physiol. 145: 266-276.

- ❖ Paridas, A. K. and Dasa, A.B. 2005. -Salt tolerance and salinity effects in plants: a review ecotoxicology and environment safety 60: 324-349.
- ❖ Pelmont, J. 1995. - Enzymes, catalyseurs du monde vivant. Presses universitaires de grenoble.
- ❖ Pessarakli, 2011 -handbook of plant and crops stress.1180p.
- ❖ Pessarakli M., 1999- Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, USA, pp 1190.
- ❖ Petr J., 1985-Non metallic sorbents in agriculture. Editions ONUDI, Tchecoslovaqui.39p.
- ❖ Poljakoff-Mayber A., 1975- Morphological and anatomical changes in plants as a - response to salinity. In: Poljakoff-Mayber A and Gale J eds. Plants in Saline Environments. Springer-Verlag, Berlin. pp. 97-117.
- ❖ Radetski CM, Ferrari B, Cotelle S, Masfaraud JF, Ferard JF.2004. Evaluation of the genotoxic, mutagenic and oxidant stress potentials of municipal solid waste incinerator bottom ash leachates. Sci. Total Environ. 333(1-3):209-216.
- ❖ Rahman M.S., MIYAKE H., TAKEOKA Y., 2002 -Effects of exogenous glycinebetaine on growth and ultrastructure of salt-stressed rice seedlings (*Oryza sativa* L.), Plant Prod. Sci. 5: 33-44.
- ❖ Rahmoune, C., Ben Nacer M., Seridi, R., et Paul, R. (1997). -Les acides aminés comme indicateurs de stress cadmié chez le pois et le maïs. Second Colloque Maghrébin sur la Biologie Végétale et l'Environnement, 28-29 Oct., 1997, Annaba.
- ❖ Rahmoune, C., Zaimeche, S., Wathelet, B. et Ben Naceur, M. (2005).- Rôle des acides aminés comme bioindicateurs de stress métalliques chez les végétaux aquatiques.1 er Colloque Euro-méditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 novembre 2005.
- ❖ Reguig Yssaad. H A M. Belkhodja., 2008- Effet de la bentonite sur l'azote assimilable d'un sol sableux cultivé en céréale et en légumineuse. Sciences & technologies c – n°28 pp.53-58.

- ❖ Rengasamy P., 2006- World salinization with emphasis on Australia .Journal of Experimental Botany. 57, (5), p.1017-1023.
- ❖ Rontein D.and Basset-hound G., 2002 - metabolic Technologies of an advertisement accumulation of osmoprotectants to the factories. Metab.Engineer.4: p 49-56.
- ❖ Sacher R.F. and Staples R.C., 1984- Chemical microscopy for study of plants in saline environments. In: R.C. Staples and G.H.Toenniessen (eds.), Salinity tolerance in plants: Strategies for crop improvement. John Wiley and Sons, New York, pp. 17-35.
- ❖ Salha, 2010- Étude de l'effet de la salinité et de la présence dumolybdène sur le comportement écophysiological de deuxvariétés de plantes de l'espèce Phaseolus vulgaris L., Thèse Magistère d'Université Mentouri Constantine.178P.
- ❖ Shabala S. (2003). Regulation of potassium transport in leaves from molecular to tissue level. Annals of Botany, 92: 627-634.
- ❖ Sang N, Li G. 2004. - Genotoxicity of municipal landfill leachate on root tips of *Vicia faba*. Mutat. Res.-Genet. Toxicol. Environ. Mutag. 560(2):159-165.
- ❖ Seghairi N. (2004). Possibilités de rétention des matières organiques par adsorption sur la bentonite, Thèse de Magister en Sciences Hydrauliques, Université de Biskra, 134 p.
- ❖ Serge M .2004- Evolution des systèmes d'irrigation et gestion de la salinité des terres irriguées. CIRAD-AMIS, TA 40/01, 34398 Montpellier Cedex 5, France. pp11.
- ❖ Shannon M.C. and Grieve C.M., 1999- Tolerance of vegetable crops to salinity. Scientia Hortic. 78, 5-38.
- ❖ Sharp RE., 2002 - Interaction with ethylene: changing views on the role of abscisic acid in root and shoot growth responses to water stress. Plant Cell Environ 25: p 211–222.
- ❖ Sigg J., 1991- Les produits de terre cuite. Editions Septima, Paris, France. 448p.
- ❖ Singh S.C., Sinha R.P., Hader D.P. (2002) -Role of lipids and fatty acids in stress increasing salt stress. New Phytologist 158 : p. 455–463.

- ❖ Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M., Zid E., 2005- Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse*. 16, (3), p.225-229.
- ❖ Salama S., Trivedi S., Bushera M., Arafa A.A., Garab G., Erdei L. 1994 –Effects of NaCl salinity on growth, cation accumulation, chloroplasts structure and function in wheat cultivars differing in salt tolerance, *J. Plant Physiol.* 144 (1994)241–247.
- ❖ Slama F., 1986. Intervention des racines dans la sensibilité ou la tolérance à NaCl des plantes cultivées. *Agronomie*, 6 : 651-658.
- ❖ Snoussi A et Halitim A., 1998 – Valorisation de eaux salines pour la nutrition minérale de plante. *Etude et Gestion des sols*, 5,4, p.289-298.
- ❖ Snoussi S.A., Halitim A., Valles V., 2004- Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. *Agriculture*, 13, (3), p.283-287.
- ❖ Sofo, A, Dichio. B, Xiloyannis, E. et Massia, A (2004). - Effects of different irrachiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during dewatering in olive tree, plant. *Science* 166, p 293-303.
- ❖ Szabolcs.I. 1992 – Salt affected soils as the ecosystem for halophytes, International workshop on halophytes for reclamation of saline wasteland and as resources for livestock. Nairobi, Kenya, NOV, 22-27.
- ❖ -Tadros, T. F. (1996)., - Correlation of viscoelastic properties of stable and flocculated suspensions with their antiparticle interactions" *Adv. Colloïde Interface Sci.* 68, 97-200.
- ❖ 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. pflan Zenphysiol.* 86: 231-240 (Abstract).
- ❖ Tardieu, F., Dreyer E., 1997- Régulation des échanges gazeux par les plantes soumises à la sécheresse. In *L'eau dans l'espace rural. Production végétale et qualité de l'eau*. Edited by INRA-Éditions. Institut National de Recherche Agronomique p.41-59.

- ❖ 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).

- ❖ Tessier D., 1984- Etude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux hydratation, gonflement et structuration au cours de la dessiccation et de la réhumectation. Thèse de Doc, chap. VII : 326p.

- ❖ Tester M., Davenport R., 2003. Na⁺ resistance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of botany* 91, (3), p 503-527.

- ❖ Thomas FM, Gausling T., 2000- Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drought. *Ann. For Sci.* 57: 325-33.

- ❖ Touret, C. et Vestier, D. (1990).- « Propriétés électrocinétiques des argiles Applications ». Dans Propriétés des petites particules, p. 205–209.

- ❖ 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.

- ❖ USDA 1998, -Natural Resources Conservation Service Soil Quality Resource Concerns: Salinization pp2.

- ❖ Van Hees AFM., 1997- Growth and morphology of pedunculate oak (*Quercus suber* L.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) seedling in relation to shading and drought. *Ann. Sci.*, 54 :9-18.

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

- ❖ Wang Y., 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.

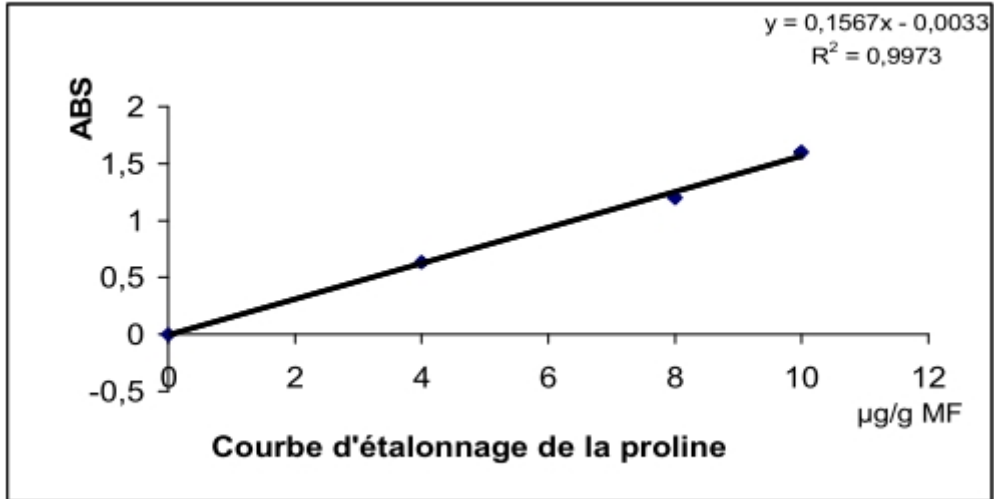
- ❖ Wiebe BH., Eilers RG., Eilers WG., Brierley T., 2001- Development of risk indicator for dryland salinisation on the Canadian prairies. Proceeding of the International Salinity Forum, p.473-476.
- ❖ Wilkins DA (1957) -A Technique for the Measurement of Lead Tolerance in Plants. Nature 180: 37-38.
- ❖ 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.
- ❖ Wu J.L., Seliskar D.M., Gallagher J.L. 1998- Stress tolerance in the marsh plant *Spartina patens*: impact of NaCl on growth and root plasma membrane lipid composition. Physiol. Plant. 102, 307–317.
- ❖ Wyn Jones, R.G. and Gorham, J. 1983- Aspects of salt and drought tolerance in higher plants. In: Genetic Engineering of Plants, An Agricultural Perspective. T. Kosuge, C.P. Meredith and A. Hollaender (Eds.). Plenum Press, New York, pp 355-370.
- ❖ Youcef L., Achour S. ,2005-Elimination des phosphates par des procedes physico chimiques, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 04, Juin 2005, pp.129-140.
- ❖ Yu T., Ralph S and Quatrano., 2005 - Cis-regulatory element based targeted gene finding: genome-wide identification of abscisic acid- and abiotic stress-responsive genes in *Arabidopsis thaliana*. Bioinformatics, 21 p: 3074 - 3081.
- ❖ Yu, Q; and then gel, Z. (1999): -drought and salinity differentially influence activities of superoxide dismutase in narrow –leafed lupins, plant science 142: 1-110.
- ❖ Zhu C. Schrant D; Hartung W; Schaffner A. R; 2003- Differential responses of maize MIP genes to salt stress and ABA. J.Exp.Bot., 56, (421),p. 2971-2981
- ❖ Zhu, J-K (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants. An. Rev. Of Plant Biol. 53: 247-73.
- ❖ Zhu J.K., 2001- Plant salt tolerance. Trends in plant Science, 6: 66-71.

Annexes

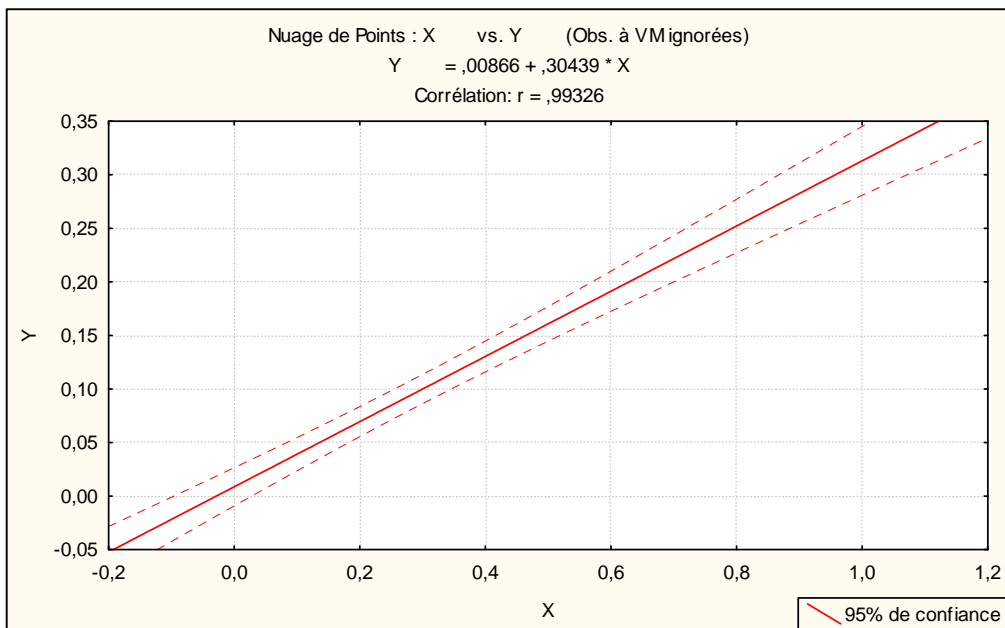
Annexe .1

Courbes d'étalonnage (*Statistica.7*).

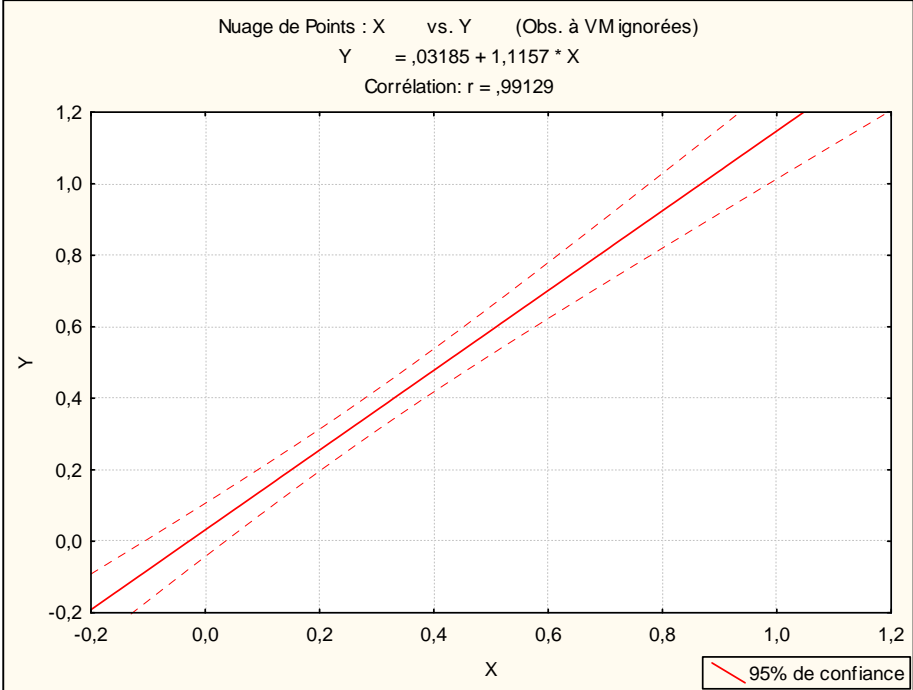
1) La proline



2) Le Sodium (Na⁺)



3) Le potassium



Annexe 2

Analyse de la variance à deux facteurs contrôlés (Stat Box 6.40).

Tableau. 1 Analyse de variance de l'effet combinée de la bentonite et salinité sur la teneur en proline dans la partie aérienne de *Semilla violeta* L

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	10924,76	59	185,165			7,759	15,42%
VAR.FACTEUR 1	2140,76	4	535,19	8,89	0,00004		
VAR.FACTEUR 2	3325,176	3	1108,392	18,412	0		
VAR.INTER F1*2	3050,846	12	254,237	4,223	0,00029		
VAR.RESIDUELLE 1	2407,976	40	60,199				

Tableau. 2 Analyse de variance de l'effet combinée de la bentonite et salinité sur la teneur en proline dans la partie souterraine de *Semilla violeta* L

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	7401,046	59	125,442			6,033	14,96%
VAR.FACTEUR 1	4342,579	4	1085,645	29,832	0		
VAR.FACTEUR 2	869,443	3	289,814	7,964	0,00032		
VAR.INTER F1*2	733,354	12	61,113	1,679	0,10842		
VAR.RESIDUELLE 1	1455,67	40	36,392				

Tableau. 3 Analyse de variance de l'effet combinée de la bentonite et salinité sur la teneur en proline dans la partie aérienne de *Reine mora* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	50394,06	59	854,137			13,535	22,67%
VAR.FACTEUR 1	27444,21	4	6861,054	37,453	0		
VAR.FACTEUR 2	9886,605	3	3295,535	17,99	0		
VAR.INTER F1*2	5735,645	12	477,97	2,609	0,01149		
VAR.RESIDUELLE 1	7327,598	40	183,19				

Tableau. 4 Analyse de variance de l'effet combinée de la bentonite et salinité sur la teneur en proline dans la partie souterraine de *Reine mora* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	14712,7	59	249,368			6,074	18,29%
VAR.FACTEUR 1	11838,99	4	2959,746	80,235	0		
VAR.FACTEUR 2	979,039	3	326,346	8,847	0,00015		
VAR.INTER F1*2	419,14	12	34,928	0,947	0,51284		
VAR.RESIDUELLE 1	1475,537	40	36,888				

Tableau.5 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur la teneur relative en eau de la variété de *Semilla violeta* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	24627,61	59	417,417			14,173	24,23%
VAR.FACTEUR 1	5329,977	4	1332,494	6,634	0,00038		
VAR.FACTEUR 2	7975,324	3	2658,441	13,235	0,00001		
VAR.INTER F1*2	3287,799	12	273,983	1,364	0,22292		
VAR.RESIDUELLE 1	8034,514	40	200,863				

Tableau.6 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur la teneur relative en eau de la variété de *Reine mora* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	23307,87	59	395,049			15,788	29,60%
VAR.FACTEUR 1	1959,656	4	489,914	1,966	0,11737		
VAR.FACTEUR 2	8476,987	3	2825,662	11,337	0,00002		
VAR.INTER F1*2	2901,218	12	241,768	0,97	0,4925		
VAR.RESIDUELLE 1	9970,006	40	249,25				

Tableau.7 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur le déficit hydrique de la variété de *Semilla violeta* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	23799,38	59	403,379			12,482	25,67%
VAR.FACTEUR 1	3229,25	4	807,313	5,182	0,00193		
VAR.FACTEUR 2	10399,74	3	3466,581	22,252	0		
VAR.INTER F1*2	3938,795	12	328,233	2,107	0,03884		
VAR.RESIDUELLE 1	6231,592	40	155,79				

Tableau.8 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur le déficit hydrique de la variété de *Reine mora* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	19852,26	59	336,479			13,894	26,49%
VAR.FACTEUR 1	3142,127	4	785,532	4,069	0,00743		
VAR.FACTEUR 2	6312,995	3	2104,332	10,901	0,00003		
VAR.INTER F1*2	2675,188	12	222,932	1,155	0,3468		
VAR.RESIDUELLE 1	7721,949	40	193,049				

Tableau.9 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur la teneur en sodium dans la partie aérienne de la variété de *Semilla violeta* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	42449,36	59	719,481			15,781	16,62%
VAR.FACTEUR 1	11835,96	4	2958,99	11,881	0		
VAR.FACTEUR 2	15282,34	3	5094,112	20,454	0		
VAR.INTER F1*2	5368,863	12	447,405	1,796	0,08213		
VAR.RESIDUELLE 1	9962,203	40	249,055				

Tableau.10 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur la teneur en sodium dans la partie souterraine de la variété de *Semilla violeta* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	72263,98	59	1224,813			12,947	10,91%
VAR.FACTEUR 1	18300,82	4	4575,205	27,296	0		
VAR.FACTEUR 2	38858,56	3	12952,85	77,278	0		
VAR.INTER F1*2	8400,059	12	700,005	4,176	0,00032		
VAR.RESIDUELLE 1	6704,539	40	167,614				

Tableau.11 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur la teneur en sodium dans la partie aérienne de la variété de *Reine mora* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	38976,36	59	660,616			13,455	13,85%
VAR.FACTEUR 1	8989,447	4	2247,362	12,414	0		
VAR.FACTEUR 2	16677,36	3	5559,12	30,707	0		
VAR.INTER F1*2	6068,102	12	505,675	2,793	0,00738		
VAR.RESIDUELLE 1	7241,455	40	181,036				

Tableau.12 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur la teneur en sodium dans la partie souterraine de la variété de *Reine mora* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	159949,9	59	2711,015			29,953	24,13%
VAR.FACTEUR 1	33898,48	4	8474,621	9,446	0,00002		
VAR.FACTEUR 2	68410,17	3	22803,39	25,416	0		
VAR.INTER F1*2	21752,8	12	1812,733	2,02	0,0479		
VAR.RESIDUELLE 1	35888,44	40	897,211				

Tableau.13 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur la teneur en potassium dans la partie aérienne de la variété de *Semilla violeta* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	18686,06	59	316,713			15,835	24,09%
VAR.FACTEUR 1	2323,74	4	580,935	2,317	0,07302		
VAR.FACTEUR 2	4528,449	3	1509,483	6,02	0,00184		
VAR.INTER F1*2	1804,023	12	150,335	0,6	0,82986		
VAR.RESIDUELLE 1	10029,84	40	250,746				

Tableau.14 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur la teneur en potassium dans la partie souterraine de la variété de *Semilla violeta* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	25866,07	59	438,408			15,261	19,10%
VAR.FACTEUR 1	4021,395	4	1005,349	4,317	0,00546		
VAR.FACTEUR 2	8749,943	3	2916,648	12,524	0,00001		
VAR.INTER F1*2	3779,178	12	314,932	1,352	0,22875		
VAR.RESIDUELLE 1	9315,559	40	232,889				

Tableau.15 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur la teneur en potassium dans la partie aérienne de la variété de *Reine mora* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	21399,69	59	362,707			15,262	22,99%
VAR.FACTEUR 1	3376,98	4	844,245	3,624	0,01303		
VAR.FACTEUR 2	4993,42	3	1664,473	7,146	0,00065		
VAR.INTER F1*2	3712,124	12	309,344	1,328	0,24115		
VAR.RESIDUELLE 1	9317,161	40	232,929				

Tableau.16 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur la teneur en potassium dans la partie souterraine de la variété de *Reine mora* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	18898,97	59	320,322			9,712	13,16%
VAR.FACTEUR 1	8244,469	4	2061,117	21,851	0		
VAR.FACTEUR 2	4141,423	3	1380,474	14,635	0		
VAR.INTER F1*2	2740,084	12	228,34	2,421	0,01812		
VAR.RESIDUELLE 1	3772,997	40	94,325				

Tableau.17 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur la ration K^+/Na^+ dans la partie aérienne de la variété de *Semilla violeta* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	7,194	59	0,122			0,255	32,96%
VAR.FACTEUR 1	1,1	4	0,275	4,242	0,00599		
VAR.FACTEUR 2	3,03	3	1,01	15,579	0		
VAR.INTER F1*2	0,47	12	0,039	0,604	0,82618		
VAR.RESIDUELLE 1	2,593	40	0,065				

Tableau.18 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur la ration K^+/Na^+ dans la partie souterraine de la variété de *Semilla violeta* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	8,698	59	0,147			0,183	23,96%
VAR.FACTEUR 1	1,616	4	0,404	12,018	0		
VAR.FACTEUR 2	5,315	3	1,772	52,717	0		
VAR.INTER F1*2	0,423	12	0,035	1,048	0,42696		
VAR.RESIDUELLE 1	1,344	40	0,034				

Tableau.19 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur la ration K^+/Na^+ dans la partie aérienne de la variété de *Reine mora* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	9,359	59	0,159			0,231	30,32%
VAR.FACTEUR 1	2,124	4	0,531	9,953	0,00001		
VAR.FACTEUR 2	3,849	3	1,283	24,049	0		
VAR.INTER F1*2	1,253	12	0,104	1,957	0,05582		
VAR.RESIDUELLE 1	2,134	40	0,053				

Tableau.20 Analyse de variance de l'effet combiné de la bentonite et salinité sur la ration K^+/Na^+ dans la partie souterraine de la variété de *Reine mora* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	8,828	59	0,15			0,19	25,67%
VAR.FACTEUR 1	1,893	4	0,473	13,152	0		
VAR.FACTEUR 2	4,367	3	1,456	40,457	0		
VAR.INTER F1*2	1,13	12	0,094	2,617	0,01127		
VAR.RESIDUELLE 1	1,439	40	0,036				

Annexe. 3

Test t de la comparaison des moyennes à P=5% (Statistica.7).

Tableau.21 Comparaison des moyennes de la teneur en proline dans la partie aérienne de *Semilla violeta* L.

(0mmol ver 20, 40,60mmol)	Moyenne1	Moyenne2	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type3	Effet
0-0 vs. 0-20	28,27160	22,71605	1,1163	4	0,326819	5,02850	7,001208	NS
0-0 vs. 0-40	28,27160	35,55556	-2,3377	4	0,079581	5,02850	1,959816	NS
0-0 vs. 0-60	28,27160	35,80247	-2,3655	4	0,077200	5,02850	2,263000	NS
3-0 vs. 3-20	33,08642	35,06173	-1,1314	4	0,321132	2,60140	1,541975	NS
3-0 vs. 3-40	33,08642	37,53086	-1,4354	4	0,224501	2,60140	4,689733	NS
3-0 vs. 3-60	33,08642	38,51852	-2,8887	4	0,044619	2,60140	1,959816	*
5-0 vs. 5-20	26,66667	35,55556	-1,7566	4	0,153822	8,54264	1,959816	NS
5-0 vs. 5-40	26,66667	37,03704	-2,0948	4	0,104267	8,54264	0,740741	NS
5-0 vs. 5-60	26,66667	37,16049	-2,1230	4	0,100999	8,54264	0,565750	NS
7-0 vs. 7-20	50,49383	54,19753	-0,3423	4	0,749367	17,64741	6,310804	NS
7-0 vs. 7-40	50,49383	53,70370	-0,3133	4	0,769694	17,64741	1,851852	NS
7-0 vs. 7-60	50,49383	50,00000	0,0458	4	0,965657	17,64741	6,097066	NS
10-0 vs. 10-20	35,18519	46,91358	-3,4392	4	0,026312	1,85185	5,608798	*
10-0 vs. 10-40	35,18519	56,54321	-4,0799	4	0,015099	1,85185	8,876019	*
10-0 vs. 10-60	35,18519	56,46914	-6,7529	4	0,002507	1,85185	5,135387	**

Tableau.22 Comparaison des moyennes de la teneur en proline dans la partie souterraine de *Semilla violeta* L.

(0mmol ver 20, 40,60mmol)	Moyenne1	Moyenne2	valeur t	dl	p	Ec-Type1	Ec-Type2	Effet
0-0 vs. 0-20	43,13580	35,18519	1,6242	4	0,179658	2,43019	8,12286	NS
0-0 vs. 0-40	43,13580	70,74074	-19,0231	4	0,000045	2,43019	0,64150	**
0-0 vs. 0-60	43,13580	65,67901	-3,4233	4	0,026699	2,43019	11,14398	*
3-0 vs. 3-20	55,30864	59,50617	-2,3518	4	0,078359	2,46605	1,86416	NS
3-0 vs. 3-40	55,30864	56,17284	-0,1183	4	0,911517	2,46605	12,40787	NS
3-0 vs. 3-60	55,30864	67,16049	-7,4963	4	0,001694	2,46605	1,19057	**
5-0 vs. 5-20	27,65432	46,17284	-2,3165	4	0,081451	9,05200	10,47784	NS
5-0 vs. 5-40	27,65432	54,19753	-2,7025	4	0,053953	9,05200	14,40323	NS
5-0 vs. 5-60	27,65432	61,11111	-4,9322	4	0,007861	9,05200	7,49028	**
7-0 vs. 7-20	46,29630	43,95062	0,2872	4	0,788255	13,85304	2,87683	NS
7-0 vs. 7-40	46,29630	48,76543	-0,2654	4	0,803838	13,85304	8,23467	NS
7-0 vs. 7-60	46,29630	57,90123	-1,2596	4	0,276293	13,85304	7,92050	NS
10-0 vs. 10-20	25,43210	53,08642	-10,7154	4	0,000430	3,92546	2,13833	**
10-0 vs. 10-40	25,43210	45,67901	-7,8452	4	0,001426	3,92546	2,13833	**
10-0 vs. 10-60	25,43210	43,20988	-4,4717	4	0,011060	3,92546	5,65750	*

Tableau.23 Comparaison des moyennes de la teneur en proline dans la partie aérienne de *Reine mora* L.

(Ommol ver 20, 40,60mmol)	Moyenne1	Moyenne2	valeur t	dl	p	Ec-Type1	Ec-Type2	Effet
0-0 vs. 0-20	37,77778	45,9259	-2,2261	4	0,089997	6,16419	1,48148	NS
0-0 vs. 0-40	37,77778	45,0617	-1,0378	4	0,357975	6,16419	10,47784	NS
0-0 vs. 0-60	37,77778	49,8765	-2,6574	4	0,056544	6,16419	4,91817	NS
3-0 vs. 3-20	18,51605	44,6914	-2,7721	4	0,050224	16,14662	2,60140	NS
30 vs. 3-40	18,51605	50,2469	-3,2735	4	0,030689	16,14662	4,60115	*
3-0 vs. 3-60	18,51605	43,4296	-2,6137	4	0,059192	16,14662	3,44510	NS
5-0 vs. 5-20	32,46914	21,4815	1,9515	4	0,122752	7,27976	6,48941	NS
5-0 vs. 5-40	32,46914	58,7654	-3,0259	4	0,038936	7,27976	13,17464	*
5-0 vs. 5-60	32,46914	64,4444	-3,3252	4	0,029237	7,27976	14,98055	*
7-0 vs. 7-20	62,34568	68,7654	-0,4915	4	0,648803	22,14286	4,63086	NS
7-0 vs. 7-40	62,34568	80,0000	-1,3808	4	0,239487	22,14286	0,37037	NS
7-0 vs. 7-60	62,34568	100,3704	-1,6702	4	0,170198	22,14286	32,62835	NS
10-0 vs. 10-20	75,18519	73,3333	0,1547	4	0,884571	5,13200	20,09238	NS
10-0 vs. 10-40	75,18519	87,2840	-0,8327	4	0,451861	5,13200	24,63821	NS
10-0 vs. 10-60	75,18519	134,0741	-9,7796	4	0,000613	5,13200	9,07974	*

Tableau.24 Comparaison des moyennes de la teneur en proline dans la partie souterraine de *Reine mora* L.

(Ommol ver 20, 40,60mmol)	Moyenne	Moyenne2	valeur t	dl	p	Ec-Type1	Ec-Type2	Effet
0-0 vs. 0-20	7,28395	10,49383	-0,6198	4	0,568981	3,890358	8,08336	NS
0-0 vs. 0-40	7,28395	9,62963	-0,9918	4	0,377439	3,890358	1,28300	NS
0-0 vs. 0-60	7,28395	11,72840	-1,9080	4	0,129044	3,890358	1,06917	NS
3-0 vs. 3-20	7,28395	21,11111	-2,0273	4	0,112553	3,890358	11,15424	NS
3-0 vs. 3-40	20,00000	21,00000	-0,2057	4	0,847079	2,521059	11,15424	NS
3-0 vs. 3-60	20,00000	28,00000	-1,6786	4	0,168531	2,521059	8,55334	NS
5-0 vs. 5-20	20,00000	35,00000	-9,3469	4	0,000730	2,521059	1,30070	**
5-0 vs. 5-40	34,32099	30,24691	1,0478	4	0,353886	0,932078	6,67010	NS
5-0 vs. 5-60	34,32099	38,27160	-2,7959	4	0,049018	0,932078	2,26300	*
7-0 vs. 7-20	34,32099	45,30864	-14,4377	4	0,000134	0,932078	0,93208	**
7-0 vs. 7-40	36,91358	38,39506	-1,0864	4	0,338378	0,213833	2,35217	NS
7-0 vs. 7-60	36,91358	51,35802	-1,9618	4	0,121311	0,213833	12,75136	NS
10-0 vs. 10-20	36,91358	48,27160	-3,1155	4	0,035681	0,213833	6,31080	*
10-0 vs. 10-40	45,18519	49,13580	-0,8235	4	0,456491	7,095276	4,32451	NS
10-0 vs. 10-60	45,18519	51,72840	-1,5944	4	0,186075	7,095276	0,42767	NS

Tableau.25 Comparaison des moyennes de la teneur relative en eau de *Semilla violeta* L.

	Moyenne	Moyenne	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type	Effet
0-0 vs. 0-20	87,96384	60,71459	6,35439	4	0,003143	6,45690	3,67095	**
0-0 vs. 0-40	87,96384	61,59900	4,84177	4	0,008389	6,45690	6,87473	**
0-0 vs. 0-60	87,96384	53,65377	8,01896	4	0,001312	6,45690	3,63706	**
3-0 vs. 3-20	74,62016	53,78555	1,77727	4	0,150161	11,19624	16,93864	Ns
3-0 vs. 3-40	74,62016	63,20676	1,03765	4	0,358041	11,19624	15,41422	Ns
3-0 vs. 3-60	74,62016	33,87003	4,52580	4	0,010611	11,19624	10,85625	*
5-0 vs. 5-20	82,83042	73,41265	1,73062	4	0,158567	9,16372	2,20617	Ns
5-0 vs. 5-40	82,83042	69,71899	1,66524	4	0,171196	9,16372	10,09986	Ns
5-0 vs. 5-60	82,83042	59,50603	1,42476	4	0,227348	9,16372	26,83342	Ns
7-0 vs. 7-20	71,59987	35,96167	9,37742	4	0,000720	3,58186	5,52269	**
7-0 vs. 7-40	71,59987	56,84482	3,43537	4	0,026405	3,58186	6,52016	*
7-0 vs. 7-60	71,59987	37,64702	5,36460	4	0,005828	3,58186	10,36056	**
10-0 vs 10-20	57,60415	56,18301	0,08925	4	0,933171	16,72802	21,92604	Ns
10-0 vs 10-40	57,60415	35,00375	1,56174	4	0,193377	16,72802	18,66618	Ns
10-0 vs.10-60	57,60415	28,43052	2,83668	4	0,047025	16,72802	6,12214	*

Tableau.26 Comparaison des moyennes de la teneur relative en eau de la variété de *Reine mora* L.

	Moyenne	Moyenne	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type	Effet
0-0 vs. 0-20	74,52714	59,03343	1,58494	4	0,188159	3,37418	16,59222	NS
0-0 vs. 0-40	74,52714	54,11305	2,79163	4	0,049230	3,37418	12,20811	*
0-0 vs. 0-60	74,52714	31,30162	4,43092	4	0,011414	3,37418	16,55656	*
3-0 vs. 3-20	58,87170	48,56888	0,52244	4	0,628965	31,41008	13,42088	NS
3-0 vs. 3-40	58,87170	50,49345	0,42790	4	0,690753	31,41008	12,78684	NS
3-0 vs. 3-60	58,87170	29,32715	1,54204	4	0,197924	31,41008	10,70737	NS
5-0 vs. 5-20	51,41651	60,93126	-0,78421	4	0,476754	19,94458	6,62081	NS
5-0 vs. 5-40	51,41651	51,70448	-0,01342	4	0,989939	19,94458	31,37705	NS
5-0 vs. 5-60	51,41651	49,00798	0,19400	4	0,855630	19,94458	8,03876	NS
7-0 vs. 7-20	65,60415	56,60991	0,69404	4	0,525855	21,14210	7,53883	NS
7-0 vs. 7-40	65,60415	41,93446	1,41315	4	0,230489	21,14210	19,86593	NS
7-0 vs. 7-60	65,60415	30,48464	2,74035	4	0,051887	21,14210	6,76294	NS
10-0 vs 10-20	72,85178	83,78137	-2,34557	4	0,078897	7,79449	2,09378	NS
10-0 vs 10-40	72,85178	65,08117	0,80272	4	0,467119	7,79449	14,84489	NS
10-0 vs 10-60	72,85178	31,00824	5,54934	4	0,005159	7,79449	10,47917	**

Tableau.27 Comparaison des moyennes du déficit hydrique de la variété de *Semilla violeta* L.

	Moyenne	Moyenne	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type	Effet
0-0 vs. 0-20	18,28802	48,17406	-12,7636	4	0,000217	3,84174	1,29961	***
0-0 vs. 0-40	18,28802	51,33423	-8,3424	4	0,001128	3,84174	5,68466	**
0-0 vs. 0-60	18,28802	50,35955	-12,8893	4	0,000209	3,84174	1,95319	***
0-0 vs. 3-20	30,56514	51,13733	-1,9470	4	0,123384	11,61184	14,14564	NS
0-0 vs. 3-40	30,56514	41,84063	-1,1273	4	0,322669	11,61184	12,85730	NS
0-0 vs. 3-60	30,56514	80,06457	-6,9321	4	0,002274	11,61184	4,25819	**
0-0 vs. 5-20	23,26623	33,05363	-2,0596	4	0,108497	8,08101	1,56263	NS
0-0 vs. 5-40	23,26623	36,73384	-2,0096	4	0,114856	8,08101	8,33292	NS
0-0 vs. 5-60	23,26623	62,67621	-2,5752	4	0,061642	8,08101	25,24530	NS
0-0 vs. 7-20	33,76361	68,45888	-7,3682	4	0,001808	3,52756	7,35349	**
0-0 vs. 7-40	33,76361	34,47774	-0,0482	4	0,963879	3,52756	25,42634	NS
0-0 vs. 7-60	33,76361	70,38889	-6,6783	4	0,002613	3,52756	8,81970	**
0-0 vs. 10-20	46,40035	48,80404	-0,1698	4	0,873420	14,88451	19,48689	NS
0-0 vs. 10-40	46,40035	68,36667	-1,6119	4	0,182282	14,88451	18,31948	NS
0-0 vs. 10-60	46,40035	74,13889	-2,9559	4	0,041725	14,88451	6,53002	*

Tableau.28 Comparaison des moyennes du déficit hydrique de la variété de *Reine mora* L.

	Moyenne	Moyenne	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type	Effet
0-0 vs. 0-20	33,42473	47,02435	-1,99229	4	0,117143	4,35622	10,99138	NS
0-0 vs. 0-40	33,42473	62,18622	-6,93199	4	0,002274	4,35622	5,71562	**
0-0 vs. 0-60	33,42473	70,46055	-4,06323	4	0,015308	4,35622	15,17452	*
3-0 vs. 3-20	61,32729	56,06674	0,56052	4	0,605031	9,76814	12,99314	NS
3-0 vs. 3-40	61,32729	57,94575	0,35086	4	0,743391	9,76814	13,53683	NS
3-0 vs. 3-60	61,32729	79,45483	-1,33989	4	0,251333	9,76814	21,30004	NS
5-0 vs. 5-20	51,11090	41,63290	0,80930	4	0,463733	19,38838	5,96304	NS
5-0 vs. 5-40	51,11090	54,29736	-0,15905	4	0,881341	19,38838	28,77994	NS
5-0 vs. 5-60	51,11090	52,05456	-0,07816	4	0,941454	19,38838	7,83533	NS
7-0 vs. 7-20	38,13614	48,99511	-0,84930	4	0,443556	20,49379	8,39250	NS
7-0 vs. 7-40	38,13614	59,28272	-1,30827	4	0,260894	20,49379	19,07374	NS
7-0 vs. 7-60	38,13614	70,47778	-2,60387	4	0,059804	20,49379	6,54356	NS
10-0 vs. 10-20	32,20976	24,84509	1,37645	4	0,240709	8,15263	4,40654	NS
10-0 vs. 10-40	32,20976	38,36114	-0,70051	4	0,522212	8,15263	12,83999	NS
10-0 vs. 10-60	32,20976	69,78307	-4,92519	4	0,007900	8,15263	10,39859	**

Tableau.33 Comparaison des moyennes de la teneur en potassium dans la partie aérienne de *Semilla violeta* L.

	Moyenne	Moyenne	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type	Effet
0-0 vs. 0-20	70,64425	67,65471	0,500000	4	0,643330	5,17803	8,96861	NS
0-0 vs. 0-40	70,64425	58,68610	2,000000	4	0,116117	5,17803	8,96861	NS
0-0 vs. 0-60	70,64425	55,69656	2,236068	4	0,089009	5,17803	10,35606	NS
3-0 vs. 3-20	82,60239	67,65471	1,250000	4	0,279440	18,66965	8,96861	NS
3-0 vs. 3-40	82,60239	67,65471	1,250000	4	0,279440	18,66965	8,96861	NS
3-0 vs. 3-60	82,60239	58,68610	2,000000	4	0,116117	18,66965	8,96861	NS
5-0 vs. 5-20	70,64425	61,67564	1,341641	4	0,250815	10,35606	5,17803	NS
5-0 vs. 5-40	70,64425	68,25262	0,398015	4	0,710948	10,35606	1,03561	NS
5-0 vs. 5-60	70,64425	58,68610	1,511858	4	0,205106	10,35606	8,96861	NS
7-0 vs. 7-20	91,57100	88,58146	0,102598	4	0,923220	33,95461	37,33930	NS
7-0 vs. 7-40	91,57100	61,67564	1,162476	4	0,309671	33,95461	28,83005	NS
7-0 vs. 7-60	91,57100	58,68610	1,621862	4	0,180152	33,95461	8,96861	NS
10-0 vs. 10-20	76,62332	52,70703	2,529822	4	0,064677	8,96861	13,69978	NS
10-0 vs. 10-40	76,62332	55,69656	2,645751	4	0,057235	8,96861	10,35606	NS
10-0 vs. 10-60	76,62332	40,74888	4,898979	4	0,008050	8,96861	8,96861	**

Tableau.34 Comparaison des moyennes de la teneur en potassium dans la partie souterraine de *Semilla violeta* L.

	Moyenne	Moyenne	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type	Effet
0-0 vs. 0-20	79,6129	79,6129	0,00000	4	1,000000	5,17803	22,57051	NS
0-0 vs. 0-40	79,6129	70,6442	2,12132	4	0,101192	5,17803	5,17803	NS
0-0 vs. 0-60	79,6129	58,9851	3,32361	4	0,029280	5,17803	9,42060	*
3-0 vs. 3-20	94,5605	76,6233	1,73205	4	0,158302	15,53409	8,96861	NS
3-0 vs. 3-40	94,5605	70,9432	2,50952	4	0,066091	15,53409	4,93953	NS
3-0 vs. 3-60	94,5605	68,5516	2,89518	4	0,044332	15,53409	0,89686	*
5-0 vs. 5-20	106,5187	100,5396	0,48507	4	0,652994	20,71212	5,17803	NS
5-0 vs. 5-40	106,5187	93,3647	0,59568	4	0,583455	20,71212	32,15385	NS
5-0 vs. 5-60	106,5187	82,6024	1,20605	4	0,294256	20,71212	27,39956	NS
7-0 vs. 7-20	88,5815	76,6233	0,71842	4	0,512225	27,39956	8,96861	NS
7-0 vs. 7-40	88,5815	70,6442	1,11417	4	0,327635	27,39956	5,17803	NS
7-0 vs. 7-60	88,5815	67,6547	1,25724	4	0,277069	27,39956	8,96861	NS
10-0 vs. 10-20	115,4873	91,5710	2,13809	4	0,099301	18,66965	5,17803	NS
10-0 vs. 10-40	115,4873	55,3976	5,38930	4	0,005733	18,66965	4,93953	*
10-0 vs. 10-60	115,4873	49,7175	5,50000	4	0,005328	18,66965	8,96861	*

Tableau.35 Comparaison des moyennes de la teneur en potassium dans la partie aérienne de *Reine mora* L.

	Moyenne	Moyenne	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type	Effet
0-0 vs. 0-20	73,63378	64,66517	1,34164	4	0,250815	10,35606	5,17803	NS
0-0 vs. 0-40	73,63378	58,68610	1,88982	4	0,131778	10,35606	8,96861	NS
0-0 vs. 0-60	73,63378	55,69656	2,68328	4	0,055041	10,35606	5,17803	NS
3-0 vs. 3-20	76,62332	73,63378	0,50000	4	0,643330	8,96861	5,17803	NS
3-0 vs. 3-40	76,62332	55,69656	2,64575	4	0,057235	8,96861	10,35606	NS
3-0 vs. 3-60	76,62332	52,70703	4,00000	4	0,016130	8,96861	5,17803	*
5-0 vs. 5-20	79,61286	85,59193	-0,32880	4	0,758802	5,17803	31,06818	NS
5-0 vs. 5-40	79,61286	79,61286	0,00000	4	1,000000	5,17803	10,35606	NS
5-0 vs. 5-60	79,61286	73,63378	0,70711	4	0,518519	5,17803	13,69978	NS
7-0 vs. 7-20	70,64425	85,59193	-0,65653	4	0,547333	5,17803	39,09326	NS
7-0 vs. 7-40	70,64425	58,68610	4,00000	4	0,016130	5,17803	0,00000	*
7-0 vs. 7-60	70,64425	55,69656	3,53553	4	0,024110	5,17803	5,17803	*
10-0 vs. 10-20	91,57100	49,71749	2,06419	4	0,107939	33,95461	8,96861	NS
10-0 vs. 10-40	91,57100	43,73842	2,41209	4	0,073388	33,95461	5,17803	NS
10-0 vs. 10-60	91,57100	42,24365	2,46654	4	0,069204	33,95461	6,84989	NS

Tableau.36 Comparaison de la moyenne de la teneur en Potassium dans la partie souterraine de *Reine mora* L.

	Moyenne	Moyenne	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type	Effet
0-0 vs. 0-20	73,63378	76,6233	-0,50000	4	0,643330	5,17803	8,96861	NS
0-0 vs. 0-40	73,63378	61,6756	1,78885	4	0,148148	5,17803	10,35606	NS
0-0 vs. 0-60	73,63378	64,6652	1,06066	4	0,348641	5,17803	13,69978	NS
0-0 vs. 3-20	82,60239	73,6338	2,12132	4	0,101192	5,17803	5,17803	NS
0-0 vs. 3-40	82,60239	64,6652	2,12132	4	0,101192	5,17803	13,69978	NS
0-0 vs. 3-60	82,60239	61,9746	3,21365	4	0,032476	5,17803	9,83826	*
0-0 vs. 5-20	94,56054	100,5396	-1,00000	4	0,373901	8,96861	5,17803	NS
0-0 vs. 5-40	94,56054	112,4978	-2,44949	4	0,070484	8,96861	8,96861	NS
0-0 vs. 5-60	94,56054	79,6129	2,50000	4	0,066767	8,96861	5,17803	
0-0 vs. 7-20	85,59193	73,6338	3,02372	4	0,039021	4,48430	5,17803	*
0-0 vs. 7-40	85,59193	61,6756	3,67065	4	0,021379	4,48430	10,35606	*
0-0 vs. 7-60	85,59193	52,7070	3,95132	4	0,016799	4,48430	13,69978	*
0-0 vs. 10-20	79,61286	61,6756	1,34164	4	0,250815	18,66965	13,69978	NS
0-0 vs. 10-40	79,61286	70,6442	0,80178	4	0,467605	18,66965	5,17803	NS
0-0 vs. 10-60	79,61286	43,7384	3,20713	4	0,032678	18,66965	5,17803	*

NS : Non significatif ** : hautement significatif et * : significatif

Tableau.37 Comparaison entre les moyennes de la teneur en proline selon les organes (aérien et souterrain) de la variété *Semilla violeta* L.

	Moyenne	Moyenne	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type	p
r0 vs. to	30,58642	53,68519	-4,4342	22	0,000209	6,90277	16,67285	0,006845
r3 vs. t3	36,04938	59,53704	-10,0856	22	0,000000	3,35880	7,33487	0,015461
r5 vs. t5	34,10494	47,28395	-2,6899	22	0,013379	5,88890	15,91796	0,002612
r7 vs. t7	52,09877	49,22840	0,7724	22	0,448072	8,66343	9,52083	0,759797
r10 vs. t10	48,77778	41,85185	1,5748	22	0,129580	10,45843	11,07852	0,851897

Tableau.38 Comparaison entre les moyennes de la teneur en proline selon les organes (aérien et souterrain) de la variété *Reine mora* L.

	Moyenne	Moyenne	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type	p
r0 vs. to	9,78395	44,66049	-14,3884	22	0,000000	4,244840	7,24478	0,090018
r3 vs. t3	26,08025	39,22840	-2,6465	22	0,014742	8,860024	14,75447	0,105141
r5 vs. t5	37,03704	44,29012	-1,1461	22	0,264054	6,557277	20,91823	0,000580
r7 vs. t7	43,73457	77,87037	-4,8517	22	0,000075	8,930121	22,67778	0,004487
r10 vs. t10	49,38272	92,46914	-4,9579	22	0,000058	6,479477	29,39907	0,000018

Tableau.39 Comparaison entre les moyennes de la teneur en sodium selon les organes (aérien et souterrain) de la variété *Semilla violeta* L.

	Moyenne	Moyenne	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type	p
r0 vs. to	112,2282	83,7194	2,13596	22	0,044060	35,70873	29,37036	0,527645
r3 vs. t3	110,3093	87,2830	2,52644	22	0,019222	21,54010	23,08321	0,822572
r5 vs. t5	100,7150	81,8005	2,02790	22	0,054851	26,39510	18,63449	0,263576
r7 vs. t7	118,2314	103,4562	1,06554	22	0,298185	42,71301	21,97526	0,037148
r10 vs. t10	151,7018	118,5330	3,31278	22	0,003165	25,40766	23,60989	0,812016

tableau.40 Comparaison entre les moyennes de la teneur en sodium (Na⁺) selon les organes (aérien et souterrain) de la variété *Reine mora* L.

	Moyenne	Moyenne	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type	p
r0 vs. to	100,9891	81,1975	1,330063	22	0,197123	39,87864	32,66120	0,518776
r3 vs. t3	108,6646	98,2479	0,884047	22	0,386230	33,90591	22,72531	0,200221
r5 vs. t5	128,4014	85,3641	1,992456	22	0,058873	71,29110	22,72350	0,000678
r7 vs. t7	114,4211	109,7611	0,313068	22	0,757178	47,47169	20,13162	0,008348
r10 vs. t10	168,1492	111,1317	4,930828	22	0,000062	37,19301	14,87445	0,005118

Tableau.41 Comparaison entre les moyennes de la teneur en potassium (K⁺) selon les organes (aérien et souterrain) de la variété *Semilla violeta* L.

	Moyenne	Moyenne	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type	p
r0 vs. to	63,17040	72,21375	-1,83381	22	0,080246	9,74991	14,02746	0,243192
r3 vs. t3	69,14948	77,66966	-1,54723	22	0,136073	13,69978	13,27417	0,918507
r5 vs. t5	64,81465	95,75635	-4,53531	22	0,000163	8,03846	22,22444	0,002140
r7 vs. t7	75,12855	75,87593	-0,07751	22	0,938919	29,58117	15,51446	0,042617
r10 vs. t10	56,44395	78,04335	-2,21280	22	0,037593	16,28106	29,63581	0,058828

Tableau.42 Comparaison entre les moyennes de la teneur en potassium (K⁺) selon les organes (aérien et souterrain) de la variété *Reine mora* L.

	Moyenne	Moyenne	valeur t	dl	p	Ec-Type	Ec-Type	p
r0 vs. to	69,14948	63,17040	1,43056	22	0,166606	10,70329	9,74991	0,762453
r3 vs. t3	70,71898	64,66517	1,21299	22	0,237998	11,53915	12,87427	0,722869
r5 vs. t5	96,80269	67,65471	4,02060	22	0,000574	13,85458	20,94616	0,186108
r7 vs. t7	68,40209	56,81764	1,32657	22	0,198259	15,15685	26,17979	0,083349
r10 vs. t10	63,91779	56,81764	0,78385	22	0,441486	17,29732	26,17979	0,184973

Tableau .43 Comparaison entre les deux variétés de l'indice de tolérance.

	Effectif	Moyenne	Variance	Ecart-type
Echantillon				
1	15	93,96	614,94	24,80
Echantillon				
2	15	92,09	41,93	6,48

Annexe 4

- **Corrélation entre les paramètres étudiés (Stat Box.6.40).**

Tableau .78 Corrélation entre les paramètres étudiés pour la variété *Semilla violeta* L.

	k ⁺ t	k ⁺ r	Rwc	proline R	proline T	Na+T	Na+R
bento	-0,06	0,07	0,13	0,67	-0,36	0,46	0,35
Salinité	-0,49	-0,58	-0,57	0,32	0,55	0,59	0,73
k+ t	1	0,28	0,13	-0,19	-0,22	-0,41	-0,47
k+r	0,28	1	0,39	-0,42	-0,44	-0,41	-0,42
Rwc	0,13	0,39	1	-0,04	-0,20	-0,14	-0,35
proline R	-0,19	-0,42	-0,04	1	0,13	0,59	0,44
proline T	-0,22	-0,44	-0,20	0,13	1	0,27	0,25
Na+TSV	-0,41	-0,41	-0,14	0,59	0,27	1	0,68
Na+RSV	-0,47	-0,42	-0,35	0,44	0,25	0,68	1

Tableau .79 Corrélation entre les paramètres étudiés pour la variété *Reine mora* L.

	Na+T	Na+R	RWC	proline tige	proline racine	k+t	k+r
Na+T	1	0,58	-0,55	0,56	0,49	-0,34	-0,46
Na+R	0,58	1	-0,51	0,46	0,52	-0,48	-0,35
RWC	-0,55	-0,51	1	-0,44	-0,39	0,37	0,54
proline t	0,56	0,46	-0,44	1	0,62	-0,33	-0,43
proline R	0,49	0,52	-0,39	0,62	1	-0,16	-0,12
k+t	-0,34	-0,48	0,37	-0,33	-0,16	1	0,56
k+r	-0,46	-0,35	0,54	-0,43	-0,12	0,56	1
bentonite	0,40	0,38	-0,32	0,66	0,87	-0,07	-0,10
salinité	0,65	0,65	-0,51	0,44	0,25	-0,47	-0,45

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral).

k⁺ t : le potassium dans la partie aérienne.

K⁺r : le potassium dans les racines.

Rwc : la teneur relative en eau.

Proline R : La proline accumulé dans les racines.

proline t : La proline accumulé dans la partie aérienne.

Na+TSV : Le sodium accumulé dans la partie aérienne du variété de *Semilla violeta* L.

Na+RSV : Le sodium accumulé dans la partie souterraine du variété de *Semilla violeta* L.

تعتبر الملوحة الزائدة في التربة مشكل يهدد التوازن البيئي و التنمية الزراعي المتوسط وإفريقيا الشمالية. تعتبر هذه الظاهرة كعامل لحيوي مهم يحد من نمو وإنتاج النباتات، عامل تدهور للتربة الزراعية في المناطق الجافة و الشبه الجافة. تقتصر هذه التجربة على سلالتين لنبات الفول يتم الزرع في من البلاستيك ذات حمولة 1 15 . يوضع الحصى تحت الوسط الزراعي لكل أص وهذا . يعالج هذا الوسط بنسب متزايدة من البنتونيد 3 5 7 10% .

النباتات ذات ستة أسابيع من النمو إلى إجهاد ملحي مكون من كلوري الصوديوم (NaCl) ، كلوري المغنزيوم (MgCl₂) و كبريتات المغنزيوم (MgSO₄) يز 20 40 60 / .الهدف من هذه التجربة دراسة الأثر المزدوج للبنتونيت و الملوحة على الخصائص الفيزيولوجية و الكيميائية لنوع من البقوليات الشائع زراعته في " *Vicia faba L* " .

5% من البنتونيت يحسن نسبة ومدة الانتاش لبذور الفول وهذا تحت تأثير البنتونيت دون إجهاد ملحي. للتركيز العالي للملوحة (40 60⁻¹) و البنتونيت يظهر نقص في الكمية النسبية للماء، نسبة البوتاسيوم مقابل ارتفاع في محتوى البر و لين ، الإجهاد المائي ونسبة الصوديوم. كان مهم جدا في التربة الرملية المحسنة ب 5% من البنتونيت.

الكلمات المفتاحية: البنتونيت ، الملوحة ، التربة الرملية ، الفول ، ، الخصائص الفيزيولوجية ، الخصائص الكيميائية.

SUMMARY

Salinity constitutes a main issue with ecological balance and the development of agriculture in the whole world, particularly the Mediterranean basin and North Africa. This phenomenon is regarded as the abiotic factor most important limiting the growth and the productivity of crop plants, degrading and polluting the grounds in the arid and semi regions arid. The study was undertaken on two varieties of broad bean *Vicia faba* L. (*Semilla violeta* L. and *Reine mora* L.). Sowing was carried out in plastic pots of 1kg with a diameter of 15cm. The gravel was deposited under the substrate ground of each pot in order to ensure a good drainage. The sandy substrate was subjected to bentonite amounts of 3, 5, 7, and 10%. The six weeks old plant was stressed with salt amounts (NaCl, MgCl₂ and MgSO₄) of 20, 40, and 60 mMol.L⁻¹. The objective of our work is to study the influence of some bentonite amounts, associated with abiotic constraints of salinity on the physiological and chemical parameters of the plant of a leguminous plant species commonly cultivated in Algeria; the broad bean *Vicia faba* L. the results show that the addition of bentonite 5% improves the rate and the duration of germination under the effect of bentonite. The combined action of strong amounts salt works (40et 60 mMol.L⁻¹) and of bentonite reveals a reduction of the relative content water and the potassium content, against an increase in the content of proline, the deficit out of water and the sodium contents. The growth of broad bean is considerable in the amended sandy grounds with bentonite 5%.

Key words: Bentonite, salinity, sandy ground, physiological parameters, *Vicia faba* L, variety, parameters, chemical parameters.

.

RESUME

La salinité constitue un problème majeur à l'équilibre écologique et au développement de l'agriculture dans le monde entier, particulièrement le bassin méditerranéen et l'Afrique du nord. Ce phénomène est considéré comme un facteur abiotique le plus important limitant la croissance et la productivité de plantes cultivées, dégradant et polluant les sols dans les zones arides et semi arides. L'étude a été menée sur deux variétés de fève *Vicia faba* L. (*Semilla violeta* L. et *Reine mora* L.). Le semis a été effectué dans des pots en plastique de 1kg avec un diamètre de 15cm. Le gravier a été déposé sous le substrat sol de chaque pot afin d'assurer un bon drainage. Le substrat sableux a été soumis à des doses de bentonite de 3, 5, 7, et 10%. La plante âgée de six semaines a été stressée à des doses de sels (NaCl, MgCl₂ et MgSO₄) de 20,40, et 60 mMol.L⁻¹. L'objectif de notre travail est d'étudier l'influence des quelque doses de bentonite, associées à des contraintes abiotiques de salinité sur les paramètres physiologiques et chimiques de la plante d'une espèce de légumineuses communément cultivée en Algérie ; la fève *Vicia faba* L. Les résultats montrent que l'addition de 5% de bentonite améliore le taux et la durée de germination sous l'effet de la bentonite. L'action combinée de fortes doses salines (40et 60 mMol.L⁻¹) et de la bentonite révèle une réduction de la teneur relative en eau et la teneur en potassium, contre une augmentation de la teneur en proline, le déficit en eau et le contenu en sodium. La croissance de la fève est importante dans les sols sableux amendés à 5 % de bentonite.

Mots clés : Bentonite, salinité, sol sableux, *Vicia faba* L, variété, paramètres physiologiques, paramètres chimiques.