

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



Filière : Sciences Agronomiques

Option : Gestion Conservatoire de l'Eau, des Sols et de l'Environnement

Laboratoire de Physiologie Végétale

THÈSE
PRESENTÉE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT
EN SCIENCES

Par
Mr TAHRI Miloud

Thème

**Recherche de paramètres liés à la
tolérance au sel chez l'haricot
(*Phaseolus vulgaris* L.)**

Soutenue publiquement le

devant le jury de soutenance suivant :

Président	REGUIEG YSSAAD Houcine Abdelhakim	Pr	Université de Mostaganem
Examineur	AMARA Mohamed	MCA	C-U de Ain-Temouchent
Examineur	MEHDADI Zouhir	Pr	Université de Sidi-Bel Abbes
Examineur	LATROCHE Ali	Pr	Université de Sidi-Bel Abbes
Directeur de thèse	CHADLI Rabah	Pr	Université de Mostaganem
Co-encadreur	LARID Mohamed	Pr	Université de Mostaganem

Année universitaire 2017-2018

DEDICACES

Au nom d'ALLAH tout puissant

**A mes très chers parents qui m'ont communiqué leur passion et
leur savoir faire, pour leurs sacrifices et leur dévouement.**

**A mes enfants Nesrine, Radouane, Asmaa, Ritej Amira et Sirine
que j'adore énormément.**

**A mon épouse Hadjira qui m'a tous le temps soutenu dans les
moments difficiles.**

A ma grande famille TAHRI

A la famille NIATI

A mes frères et sœurs

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

Miloud

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie « **ALLAH** » tout puissant de m'avoir donné la force, la volonté et le courage pendant toutes ces années d'études pour concrétiser ce travail.

Sans oublier d'exprimer mes plus vifs remerciements à :

- **Mr. REGUIEG YSSAAD Houcine Abdelhakim** ; Professeur à l'Université de Mostaganem qui m'a fait l'honneur de présider le jury de thèse.
- **Mr. CHADLI Rabah** ; Directeur de thèse et Professeur à l'Université de Mostaganem, qu'il soit assuré de ma plus profonde reconnaissance et de mes chaleureux remerciements pour son soutien et sa disponibilité tout au long de cette étude.
- **Mr. AMARA Mohamed** ; Maitre de conférence A au Centre Universitaire de Ain-Timouchent, qui m'a fait l'honneur de participer au Jury de soutenance; je le remercie profondément.
- **Mr. MEHDADI Zouhir** ; Professeur à l'Université de Sidi-Bel Abbes, d'avoir accepté d'être examinateur de mon travail.
- **Mr. LATROCHE Ali** ; Professeur à l'Université de Sidi-Bel Abbes, qui m'a fait l'honneur de participer au Jury de soutenance; je le remercie profondément.
- **Mr. LARID Mohamed** ; co-encadreur de thèse et Professeur à l'Université de Mostaganem, pour sa présence au cours de ce travail.

Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans l'aide et la sympathie de mes collègues enseignants et travailleurs de l'Université de Mostaganem.

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

TAHRI Miloud

Sommaire

Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction	1

Partie bibliographique

Chapitre I : Bentonite.

I.1. Généralités	4
I.2. Structure et composition de la Bentonite	6
I.3. Utilisation de la bentonite	7
I.4. Propriétés des argiles	8
I.5. Types de bentonite	8
I.5.1. Bentonites naturelles	8
I.5.2. Bentonites activées	9
I.6. La capacité d'échange cationique (CEC)	9

Chapitre II : Salinité des sols.

II.1. Définition	10
II.2. Action de la salinité sur les végétaux	11
II.3. Importance de la salinité	11
II.4. Définition de sols salés (sols halomorphes)	12
II.5. Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation	12
II.6. Origine de la salinité	12
II.7. Différents types de salinisation	13
II.7.1. Salinisation géologique	13
II.7.2. Salinisation par les eaux	13
II.8. Conditions climatiques et salinisation	13
II.8.1. Salinisation par fertilisation	14
II.9. Classification des sols sales	14
II.9.1. Sols à complexe sodique ou sols alcalins (les solonetz)	16
II.9.2. Sols salins à complexe calcique (Solontcheks)	16
II.10. Répartition géographique et importance des sols affectés par la salinité	17
II.11. Mise en valeur des sols salés	17

Chapitre III : Salinité et plante.

III.1. Stress	18
III.1.1. Définitions du stress	18
III.1.2. Catégories de stress	18
III.1.2.1. Stress salin	19
III.1.2.2. Stress hydrique	19
III.1.2.3. Stress ionique	20
III.1.2.4. Stress nutritionnel	20
III.1.3. Action du Stress sur les végétaux	20
III.1.4. Métabolisme	20
III.1.4.1. Ajustement osmotique	21
III.1.4.2. Ajustement structural	21
III.1.4.2.1. Sécheresse	21
III.1.4.2.2. Conséquences de la sécheresse sur le fonctionnement des plantes	22
III.1.4.2.3. Adaptation des plantes à la sécheresse	23
III.1.4.3. Réponses des plantes aux stress salin	23
III.1.4.4. Impact de la salinité sur le développement des plantes	24
III.1.4.4.1. Germination	24
III.1.4.4.2. Croissance et développement	25
III.1.4.5. Effet de la salinité sur le comportement biochimique de la plante	26
III.1.4.5.1. Effet de la salinité sur les processus physiologiques de la plante	27
III.1.4.5.1.1. Exclusion	28
III.1.4.5.1.2. Inclusion	28
III.1.4.5.1.3. Réexcrétion	28
III.1.4.6. Les mécanismes de la tolérance à la salinité chez les végétaux	29
III.1.4.6.1. Régulation ionique et compartimentation	30
III.1.4.6.2. Biosynthèse de solutés compatibles	30
III.1.4.6.3. Synthèse et accumulation de la proline	31
III.1.4.6.4. Induction des hormones végétales	31
III.1.4.6.5. Changement de la voie photosynthétique	32

Chapitre IV : Système de culture hydroponique et *Phaseolus vulgaris* L.

IV.1. Intérêts et utilisations des cultures hors sol	33
IV.2. Description de l'espèce " <i>Phaseolus vulgaris</i> L."	35
IV.2.1. Caractères morphologiques	37
IV.2.1.1. Racines	37
IV.2.1.2. Tiges	37
IV.2.1.3. Feuilles	37
IV.2.1.4. Inflorescences	38

IV.2.1.5. Fleurs.....	38
IV.2.1.6. Fruits.....	38
IV.2.1.7. Graines.....	38
IV.2.2. Phases végétatives.....	39
IV.2.2.1. Phase de germination.....	39
IV.2.2.2. Phase de croissance.....	39
IV.2.2.3. Phase de floraison.....	39
IV.2.2.4. Phase de maturation.....	39
IV.2.3. Exigences du haricot.....	40
IV.2.3.1. Exigences climatiques.....	40
IV.2.3.1.1. Besoins en chaleur.....	40
IV.2.3.1.2. Besoins en eau.....	40
IV.2.3.1.3. Besoins en lumière.....	40
IV.2.3.1.4. Besoins en altitude.....	40
IV.2.3.2. Exigences édaphiques.....	41
IV.2.3.2.1. Besoins en sols.....	41
IV.2.4. La culture du haricot.....	41
IV.2.5. Importance des légumineuses cultivées.....	42
IV.2.5.1. Importance économique.....	43
IV.2.5.2. Valeur alimentaire.....	44
IV.2.6. Contraintes liées à la culture et à la productivité du haricot commun.....	44
IV.2.6.1. Maladies et enemies.....	45
IV.2.6.1.1. Maladies.....	45
IV.2.6.1.2. Accidents physiologiques.....	45

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

1. Matériel végétal.....	46
2. Sable.....	47
2.1. Dispositif expérimental.....	47
2.1.1. Préparation de la culture.....	47
2.1.2. Préparation de système hydroponique.....	50
2.1.2.1. Avantages de la culture hors sol.....	50
2.2. Méthodes d'analyses physico-chimiques des sols.....	52
2.2.1. Détermination de la capacité de rétention (R).....	52
2.2.2. Mesure de la Salinité et du pH.....	52
2.2.3. Conductivité électrique (CE).....	53
2.2.4. Dosage des sels solubles.....	53
2.2.4.1. Dosage du chlore.....	53
2.2.4.2. Dosage des sulfates.....	54
2.2.4.3. Dosage des carbonates et bicarbonates.....	54
2.3. Germination.....	55

2.4. Repiquage	55
2.5. Préparation des solutions d'arrosage	56
2.5.1. Solution nutritive	56
2.5.2. Solutions salines	56
2.6. Irrigation	57
2.7. Mesure biométrique de la tige et racine	57
2.8. Etude anatomique des tiges et des racines	58
2.9. Extraction et dosage de la proline	60

Résultats et Discussion.

1. Caractéristiques du milieu de culture	62
1.1. La capacité de rétention	62
1.2. Le pH du sol	62
1.3. Conductivité électrique	62
1.3.1. Station de Benabdelmalek Ramdane	63
1.3.2. Station de Sidi Lakhdar	64
1.3.3. Station d'Achaacha	64
1.4. Dosage des anions et des cations des différents sols après traitement	65
1.4.1. Station de Benabdelmalek Ramdane	65
1.4.1.1. Dosages des anions	65
1.4.1.2. Dosages des cations	66
1.4.2. Station de sidi Lakhdar	67
1.4.2.1. Dosages des anions	67
1.4.2.2. Dosages des cations	68
1.4.3. Station d'Achaacha	69
1.4.3.1. Dosages des anions	69
1.4.3.2. Dosages des cations	70
1.5. Dosage de la proline endogène	71
1.5.1. Station Ben Abdelmalek Ramdane	71
1.5.1.1. Dosage de la proline des plantes du 1 ^{ier} stress (7 jours)	85
1.5.1.2. Dosage de la proline des plantes du 2 ^{ème} stress (21 jours)	72
1.5.2. Station de Sidi Lakhdar	73
1.5.2.1. Dosage de la proline des plantes du 1 ^{ere} stress (7 jours)	73
1.5.2.2. Dosage de la proline des plantes du 2 ^{ème} stress (21 jours)	74
1.5.3. Station d'Achaacha	75
1.5.3.1. Dosage de la proline des plantes du 1 ^{ere} stress (7 jours)	75
1.5.3.2. Dosage de la proline des plantes du 2 ^{ème} stress (21 jours)	76
2. Caractérisation anatomique des racines et des tiges de <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	80
2.1. Variation du diamètre du xylème racinaire et caulinaire (μm) des plantes stressées à la salinité ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$) sans l'utilisation de la bentonite	81
2.1.1. Réponse du xylème racinaire	81
2.1.2. Réponse du xylème caulinaire	85
2.2. Variation du diamètre du xylème racinaire et caulinaire (μm) des plantes	

stressées à la salinité (NaCl + CaCl ₂) avec l'utilisation de la bentonite.....	87
2.3. Analyse par ACP des relations du diamètre du xylème sous stress salin.....	89
2.3.1. Xylème racinaire.....	89
2.3.2. Xylème caulinaire.....	91
3. Action du stress salin sur la hauteur de la tige (culture hydroponie)	95
4. Action du stress salin sur la hauteur de la racine (culture hydroponie)	97
5. Caractérisation anatomique des racines et des tiges de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. en culture hydroponique.....	99
Conclusion.....	101
Références bibliographiques.....	106
Annexes.....	121
Travaux scientifiques.....	131

المخلص

تسبب ملوحة التربة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة أضرار على البيئة، بعكس النباتات الملحية التي تتكيف مع الوسط البيئي، حيث يتم حصر معظم النباتات في مجموعة glycophytes ذات الخصائص الفسيولوجية والبيوكيميائية وهذه الأخيرة تتأثر بوجود الملح في التربة الغنية بكلوريد Cl^- والصوديوم Na^+ .

أيونات Na^+ تقوم بتعطيل امتصاص الكاتيونات (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} et Ca^{+2})، والتراكم المفرط للكلور يقلل من امتصاص الشوارد (Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- CO_3^{-2}) الضرورية لنمو وتطور النباتات وخاصة، النترات والكبريتات.

التربة بدون وضع البنتونيت (الطين) والمسقية بالأملح المغذية والملحية، لديها نسبة عالية من الكبريتات في تركيز $(NaCl+CaCl_2)$ 50 meq.l^{-1} .

أضرار الملوحة على التنمية وإنتاج نباتات كثيرة ويصعب تحديد الأولويات. أيونات الصوديوم وكلوريد تدخل النباتات من خلال الجذور ويتم نقلها عن طريق الخشب إلى السيقان والأوراق. وهناك يتم تخزينها وتسمى النباتات نوع يشمل أو إعادة السريان من اللحاء إلى جذور النباتات "استبعاد". يتم الفحص في هذه الآليات تجريبيا للتسامح وحساسية النباتات على تشكيلة محلية (*Phaseolus vulgaris* L.) في وضعها في نظام غذائي وتراكيز ملحية ($50-100-200 \text{ meq.g.l}^{-1}$) ($NaCl+CaCl_2$) مضافة إلى تربة رملية مع أو بدون إضافة البنتونيت (الطين).

الملوحة تسبب زيادة تراكم البرولين لمستويات هذه الأحماض الأمينية وتزداد تدريجيا مع تركيز الملح، وفق لجهاز ومرحلة النمو. هذا التراكم من مركب النتروجين هو أكثر وضوحا في مناطق هوائية أو من أجزاء الجذور. وبالتالي إنتاج البرولين مهم خصوصا أن كثافة العلاج هو أكثر وضوحا في الأوراق حديثة النمو في ظروف إنقسام خلوية سريعة.

تشير التغييرات فغي محتوى البرولين إلى نسب متفاوتة وفقا لأنواع التربة والمنطقة المدروسة. وتشير البيانات إلى أن تعريض الشتلات (*Phaseolus vulgaris* L.) للملوحة، أدى إلى انخفاض نسبة الملوحة في النمو بشكل رئيسي من الجزء الهوائي، ولكن مع إضافة البنتونيت إلى التربة والشتلات من المناطق الثلاث تظهر القدرة على التكيف عاليا. تأثير الملوحة ليست موحدة لجميع الأجهزة. وقد رافق هذا التأثير على النمو الاكتناب بسبب التغييرات الموجبة. وتراكم الأملاح متوافق يدفع أيضا إلى انخفاض محتمل للمياه ويسمح بالتالي امتصاص الماء من البيئة.

الكلمات الرئيسية : التربة، والإجهاد والملح ، والبنتونيت، برولين، *Phaseolus vulgaris* L.

Résumé

Dans les régions arides et semi arides, la salinisation du sol constitue une contrainte écologique majeure. A l'inverse des halophytes tolérantes aux sels, la plupart des espèces végétales sont rangées dans le groupe des glycophytes, dont les processus physiologiques et biochimiques sont affectés en présence de sel. Les sols riches en chlorure de sodium sont caractérisés par une abondance des ions Na^+ et Cl^- .

Les ions Na^+ perturbent l'absorption des cations (K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+}) ;alors que l'accumulation excessive du chlore diminue l'absorption des anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- CO_3^{2-}) indispensables à la croissance et au développement des végétaux en particulier les nitrates, les nitrites et les sulfates. Les sols sans bentonite irrigués par la solution nutritive et saline, présentent une teneur importante en sulfates à 50 meq.l^{-1} ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$).

Les impacts de la salinité sur le développement et le rendement des végétaux sont aussi nombreux que difficiles à hiérarchiser. Les ions chlorure et sodium entrent dans les plantes par les racines et sont véhiculés par le xylème jusqu'aux tiges et aux feuilles. Là, ils sont soit stockés, plantes de type «inclure», soit peu retenus et revéhiculés par le phloème jusqu'aux racines plantes de type «exclure». Ces mécanismes de tolérance ou de sensibilité sont expérimentalement investigués sur une variété locale de (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivée sous régime croissant de sels ($50\text{-}100200\text{- meq.g.l}^{-1}$ de $\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$) sur un substrat avec ou sans bentonite.

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

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

Les données obtenues montrent que l'exposition des plantules de (*Phaseolus vulgaris* L.), à la salinité s'est traduite par une chute de la croissance surtout de la partie aérienne, mais avec un sol amendé de bentonite, les plantules des trois stations montrent une grande adaptabilité. L'effet de la salinité n'est pas homogène pour tous les organes. Cet effet dépressif sur la croissance s'est accompagné de modifications cationiques. L'accumulation des solutés compatibles induit elle aussi une diminution du potentiel hydrique et permet donc l'absorption de l'eau de l'environnement.

Mots-clés : Substrat, stress salin, bentonite, proline, *Phaseolus vulgaris* L.

Abstract

In arid and semi arid areas, soil salinization is a major ecological constraint. Unlike salt tolerant halophytes, most plants are stored in the group of glycophytes, whose physiological and biochemical processes are affected in the presence of salt. Soils rich in sodium chloride are characterized by an abundance of Na^+ and Cl^- . Na^+ ions disrupt the absorption of cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+}), so that the excessive accumulation of chlorine reduces the absorption of anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-}) essential for growth and development of plants in particular, nitrates, nitrites and sulfates. without bentonite soils irrigated with nutrient solution and saline, have a high content of sulfates 50 meq.l^{-1} ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$).

The impacts of salinity on development and yield of plants are many and difficult to prioritize. Sodium and chloride ions enter the plants through the roots and are transported via the xylem to the stems and leaves. Here they are either stored, type plants "includes" or just selected and revéhiculés by the phloem to the roots of plants such as "excluder". These mechanisms of tolerance or sensitivity are experimentally investigated on a local variety (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under increasing salt diet (50-100-200 meq.gl^{-1} $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$) on sandy soil with or without bentonite.

Salinity causes an increased accumulation of proline. The levels of this amino acid increases with as the salt concentration increases and also depending on the organ and stage of growth. This accumulation of nitrogen compound is more evident in the leaf parts in the parts root. Thus the production of proline is particularly significant that the intensity of treatment is important and that the leaves are young in under conditions of intense cell multiplication. Changes in proline content change in proportions varying according to the low soil types and the station studied.

The data show that exposure of seedlings of (*Phaseolus vulgaris* L.), salinity led to a fall in growth mainly from the aerial part, but with a bentonite amended soil, seedlings of the three stations show a high adaptability. The effect of salinity is not uniform for all organs. This depressive effect on growth was accompanied by changes cationic. The accumulation of compatible solutes also induces a decrease in water potential and thus allows the absorption of water from the environment.

Key words: Soil, Salt stress, Bentonite, Proline, *Phaseolus vulgaris* L.

Liste des abréviations

SO_4^{-2} : ion sulfate

% : pourcentage

ABA : Acide Abscissique

C.E : Conductivité électrique

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

Ca^{++} : cation calcium

CaCl_2 : Chloride de Calcium

CERFA : Centre d'Enregistrement et de Révision des Formulaires Administratifs

Da : Densité apparente

E.S.P : taux de sodium échangeable

FAO : Food alimentation organisation

HCO_3^- : anion Bicarbonate

Hp: Humidité pondérale

K : Vitesse d'infiltration exprimée

K^+ : Cation Potassium

L : Hauteur de la colonne de sol traversée

CAM : Métabolisme Acide Crassulacéen

ME : Masse d'eau

MF, MS, MT : Masse de Matière Fraiche, Sèche et Turgescente

MO : Matière organique

NO : Azote organique

Ms : masse des particules solides

NaCl : Chloride de sodium

PF : Poids frais

pH : Potentiel hydrogène

PH : Poids Humide

Ph : Phloème

ProDH : proline déshydrogénase

PS : Poids Sec

Q : Débit d'eau en cm^3/s

RWC : Teneur Relative en Eau

S : Section traversée en cm^2

VPD : Déficit de pression de vapeur

V_s : Volume des particules solides

VT : Volume totale de sol en place

VX : vaisseaux

X : xylème

μS : micro siemens.

Liste des tableaux

Tableaux :	Page
Tableau 1. Indice de salinité de certains engrais.....	14
Tableau 2. Caractéristiques des sols salins.....	15
Tableau 3. Classe de la salinité des sols.....	16
Tableau 4. Estimation de la production et la surface cultivée de haricot en Afrique ...	36
Tableau 5. Superficies et productions du haricot blanc en Algérie (DSA).....	43
Tableau 6. Composition (g/100g de graines) et valeur énergétique (calorie/ 100g) des graines de <i>Vigna unguiculata</i> , de <i>Cicer arietinum</i> et de <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	44
Tableau 7. Composition chimique de la bentonite de Mostaganem.....	49
Tableau 8. Composition chimique de la solution nutritive.....	56
Tableau 9. Préparation des solutions salines de Na Cl + CaCl ₂	57
Tableau10. Caractéristiques du milieu de culture des trois stations.....	63
Tableau 11. Teneurs en proline endogène chez les plantules du 1 ^{ier} stress aux NaCl + CaCl ₂ (7 jours) sur un sol avec ou sans bentonite.....	71
Tableau 12. Teneurs en proline endogène chez les plantules du 2 ^{ème} stress aux NaCl + CaCl ₂ (21 jours) sur un sol avec ou sans bentonite.....	72
Tableau 13. Teneurs en proline endogène chez les plantules du 1 ^{ier} stress aux NaCl + CaCl ₂ (7 jours) sur un sol avec ou sans bentonite.....	73
Tableau 14. Teneurs en proline endogène chez les plantules du 2 ^{ème} stress aux NaCl + CaCl ₂ (21 jours) sur un sol avec ou sans bentonite.....	74
Tableau 15. Teneurs en proline endogène chez les plantules du 1 ^{ier} stress aux NaCl + CaCl ₂ (7 jours) sur un sol avec ou sans bentonite.....	75
Tableau 16. Teneurs en proline endogène chez les plantules du 2 ^{ème} stress aux NaCl + CaCl ₂ (21 jours) sur un sol avec ou sans bentonite.....	76
Tableau 17. Test de signification de Fisher (P = 5%) du diamètre (µm) des vaisseaux du xylème racinaire au cours du développement des plantes de l'haricot sous le stress au NaCl + CaCl ₂ sans bentonite pendant 21 jours.....	82
Tableau 18. Test de signification de Fisher (P=5%) du diamètre (µm) des vaisseaux du xylème caulinaire au cours du développement des plantes de l'haricot sous le stress au NaCl + CaCl ₂ sans bentonite pendant 21 jours.....	86
Tableau 19. Variation de longueur des tiges (cm) en fonction de différentes concentrations après 45 jours.....	95
Tableau 20. Variation de longueur des racines (cm) en fonction de différentes concentrations après 45 jours.....	97

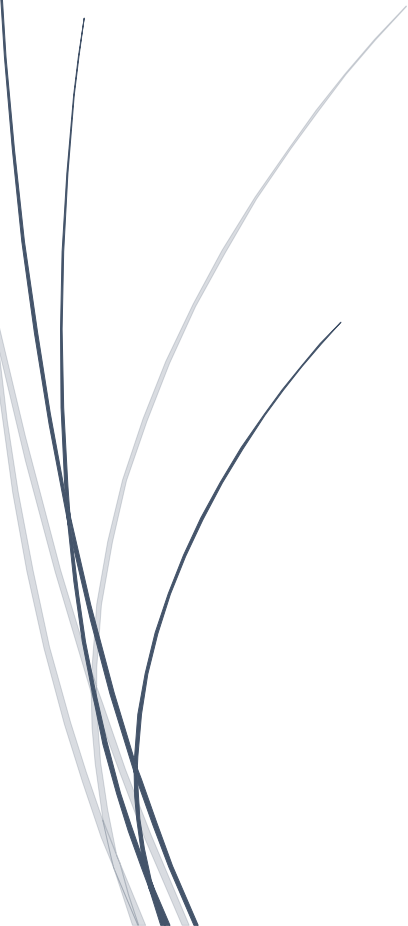
Liste des figures

Figure :	page
Figure 1. Bentonite en poudre.....	5
Figure 2. Structure idéale de la montmorillonite et de la beidellite	7
Figure 3. Transport et accumulation de Na ⁺ chez une plante sensibles (haricot), moyennement tolérante (laurier rose) et tolérante (orge)	26
Figure 4. Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes incluser ou excluser	29
Figure 5. Schéma de système Hydroponique.....	33
Figure 6. Dispositif de culture hydroponique de haricots nain.....	34
Figure 7. Graines de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. (haricot).....	35
Figure 8. <i>Phaseolus vulgaris</i> L. (haricot).....	35
Figure 9. Les différents stades de germination.....	37
Figure 10. Graines de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. Variété Coco rose.....	46
Figure 11. Carte géographique des zones de prélèvements.....	47
Figure 12. Agrandissement des particules des substrats utilisés (100X).....	48
Figure 13. Bentonite.....	49
Figure 14. Système hydroponique.....	51
Figure 15. pH-mètre (pH-/mV-mètre, étalonnage en 2 points HI 2211).....	52
Figure 16. Conductimètre (CYBERSCAN CON 510).....	53
Figure 17. Germination des graines de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. Dans des boîtes de Pétri (phase semis).....	55
Figure 18. Plantules en pot, cultivées en salle de culture à la température ambiante et à la lumière du jour.....	55
Figure 19. Mesure de la longueur des tiges et des racines.....	57
Figure 20. Technique de la double coloration.....	58
Figure 21. Examen microscopique des racines et des tiges.....	59
Figure 22. Coupe transversale d'une racine d'haricot (<i>Phaseolus Vulgaris</i> L.) vue Microscopique a Gr : 100X.....	59
Figure 23. Spectrophotomètre (6705 - spectrophotomètre UV-visible 4nm (190-1100 nm) - JENWAY).....	61
Figure 24. Variation de la conductivité électrique (CE) des substrats sans et avec bentonite en fonction de la concentration des sels.....	62
Figure 25. Variation de la conductivité électrique (CE) des substrats sans et avec bentonite en fonction de la concentration des sels.....	63
Figure 26. Variation de la conductivité électrique (CE) des substrats sans et avec bentonite en fonction de la concentration des sels.....	63
Figure 27. Variation des anions (Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , BaSO ₄ ⁻² , CO ₃ ²⁻) en fonction des différents traitements.....	64
Figure 28. Variation des cations (Na ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ et Ca ²⁺) en fonction des différents traitements.....	65

Figure 29.	Variation des anions (Cl^- , SO_4^{2-} , BaSO_4^{2-} , CO_3^{2-}) en fonction des différents traitements.....	66
Figure 30.	Variation des cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+}) en fonction des différents traitements.....	67
Figure 31.	Variation des anions (Cl^- , SO_4^{2-} , BaSO_4^{2-} , CO_3^{2-}) en fonction des différents traitements.....	68
Figure 32.	Variation des cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+}) en fonction des différents traitements.....	69
Figure 33.	Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{PS}^{-1}$) chez <i>Phaseolus vulgaris</i> L. après un stress aux $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ de 7 jours.....	71
Figure 34.	Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{PS}^{-1}$) chez <i>Phaseolu svulgaris</i> L. après un stress aux $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ de 21jours.....	72
Figure 35.	Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{PS}^{-1}$) chez <i>Phaseolus vulgaris</i> L. après un stress aux $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ de 7 jours.....	73
Figure 36.	Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{PS}^{-1}$) chez <i>Phaseolus vulgaris</i> L après un stress aux $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ de 21 jours.....	74
Figure 37.	Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{PS}^{-1}$) chez <i>Phaseolus vulgaris</i> L après un stress aux $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ de 7 jours.....	75
Figure 38.	Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{PS}^{-1}$) chez <i>Phaseolus vulgaris</i> L après un stress aux $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ de 21jours.....	76
Figure 39.	Coupe transversale d'une Racine de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. (X10).....	79
Figure 40.	Coupe transversale d'une Tige de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. (X10).....	80
Figure 41.	Anatomie des racines des (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.). Agée de 21 jours (Station BMR). Les flèches indiquent les vaisseaux du xylème (X40).....	81
Figure 42.	Anatomie des racines des (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.). Agée de 21 jours (Station SLK). Les flèches indiquent les vaisseaux du xylème (X40).....	82
Figure 43.	Anatomie des racines (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.). Agée de 21 jours (Station ACH). Les flèches indiquent les vaisseaux du xylème (X40).....	83
Figure 44.	Anatomie des tiges de (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.). Agée de 21 jours (Station BMR). Les flèches indiquent les vaisseaux du xylème (X40).....	84
Figure 45.	Anatomie des tiges de (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.). Agée de 21 jours (Station SLK). Les flèches indiquent les vaisseaux du xylème (X40).....	85
Figure 46.	Anatomie des tiges de (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.). Agée de 21 jours (Station ACH). Les flèches indiquent les vaisseaux du xylème (X40).....	86
Figure 47.	Variation du diamètre du xylème racinaire et caulinaire : station Ben Abdelmalek Ramdane (BAR).....	87
Figure 48.	Variation du diamètre du xylème racinaire et caulinaire : station Sidi Lakhdar (SLK).....	87
Figure 49.	Variation du diamètre du xylème racinaire et caulinaire : station Achaacha (ACH).....	88
Figure 50.	Représentation graphique des variations des diamètres du xylème racinaire sous les différents traitements salins sans bentonite (a : Témoin ; b : BAR ; c : SLK ; d : ACH).....	89

Figure 51.	Représentation graphique des variations des diamètres du xylème caulinaire sous les différents traitements salins sans bentonite (a : Témoin ; b : BAR ; c : SLK ; d : ACH).....	90
Figure 52.	Variation de la longueur des tiges de l'haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) en fonction du stress salin.....	94
Figure 53.	Effet du stress salin sur la croissance de l'haricot (hydroponie).....	95
Figure 54.	Variation de la longueur des racines de l'haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) en fonction du stress salin.....	96
Figure 55.	Anatomie microscopique de la tige de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. âgé de 21 jours cultivées sous stress salin (NaCl) dans une culture hydroponique.....	98
Figure 56.	Anatomie microscopique de la racine de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. âgé de 21 jours cultivées sous stress salin (NaCl) dans une culture hydroponique.....	98
Figure 57.	Anatomie microscopique de la tige de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. âgé de 21 jours cultivées sous stress salin (NaCl + CaCl ₂) dans une culture hydroponique.....	99
Figure 58.	Anatomie microscopique de la racine de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. âgé de 21 jours cultivées sous stress salin (NaCl + CaCl ₂) dans une culture hydroponique.....	99

Introduction



Introduction

Le taux élevé de sel dans les sols ou les eaux d'irrigation est une préoccupation environnementale majeure et un problème sérieux pour l'agriculture dans les régions arides et semi-arides, comme le bassin méditerranéen. En effet, l'excès de sel dans le sol affecte la germination, la croissance des plantules et leur vigueur, la phase végétative, la floraison et la fructification à des degrés variables (Delgado *et al.*, 1994 ; Cordovilla *et al.*, 1995), conduisant à terme à des baisses de rendement et de qualité des productions.

Dans le monde, environ 20% des terres cultivées et 50% de terres irriguées présentent une teneur en sels néfaste au développement des végétaux. En Afrique, l'Algérie se situe parmi les pays les plus touchés par ce phénomène. En effet, presque 3,2 millions d'hectares de la superficie sont salins (Hamdy, 1999).

L'effet dépressif du sel se manifeste à partir d'un seuil critique de concentration caractéristique de l'espèce ou de la variété (Epstein *et al.*, 1980).

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes : la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (Levigneron *et al.*, 1995).

L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Cette accumulation des ions Na^+ affecte l'absorption de K^+ et peut même s'arrêter complètement chez l'haricot (Hamza, 1977).

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

La salinisation des sols et de l'eau, est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale et le rendement dans les écosystèmes arides et semi arides, elle résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol (Munns *et al.*, 2006) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie ; elle provient également de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (Ben naceur *et al.*, 2001). Chaque année, les surfaces perdues à cause de la salinité des sols, varient autour de 20 millions d'ha dans le monde.

Ainsi, ces surfaces sont passées de 48 millions à 265 millions d'ha de terres agricoles touchées par la salinité, les surfaces agricoles affectées dans le monde seraient de 340 millions

d'ha, soit 23% des terres cultivées dans le monde (Cheverry, 1995). Un milliard d'ha est menacé, dont 3,2 millions d'ha en Algérie (Chadli et Belkhodja, 2007).

Pour pallier à cette contrainte environnementale, diverses stratégies peuvent être adoptées, par exemple l'application des techniques de drainage des sels en excès, puisqu'elles exigent un volume d'eau important pour lessiver ces sels, cette technique est très coûteuse de ce fait l'introduction d'espèces végétales tolérantes aux stress abiotiques et de haute valeur socio-économique, constitue une des approches pour réhabiliter les sols salins. Le choix idéal d'une végétation appropriée à ces conditions, constitue la première étape pour résoudre le problème de la salinité. C'est ainsi que l'introduction des espèces halophiles qui complètent leurs cycles de vie à des niveaux de salinité élevés et qui ont l'habileté d'accumuler de fortes concentrations en micronutriments, supérieures aux niveaux normaux (Ramos *et al.*, 2004 in Sai kachout *et al.*, 2009) sont prometteuses pour le dessalement des sols dans les zones arides et semi-arides (Messedi et Abdelly, 2004).

Les plantes répondent aux contraintes de l'environnement par de nombreux changements, révèlent le caractère multifactoriel des mécanismes de tolérance et d'adaptation aux stress abiotiques. La réponse au sel des espèces végétales, dépend de l'espèce même, de sa variété, de la concentration en sel et du stade de développement de la plante (Ben naceur *et al.*, 2001).

En conditions stressantes, les plantes peuvent réagir en mettant en œuvre des mécanismes, entre autres, physiologiques (Parida et DAS, 2005) et biochimiques (Brugnoli et Lauteri, 1991) impliquant une activité enzymatique (Chaffei *et al.*, 2004). Ainsi, par la synthèse de composés organiques ayant un rôle d'osmoprotecteurs ou de régulateurs osmotiques.

Les critères d'identification de la tolérance au sel les plus usuels, incluent le rendement, la vigueur, les dommages foliaires et la taille des plantes (Maas et Nieman, 1978 ; Shanon, 1984). D'autres indices de tolérance ont été proposés, basés sur des caractéristiques physiologiques spécifiques, notamment l'accumulation d'ions ou la production de métabolites spécifiques. Néanmoins, la tolérance au sel est habituellement déterminée en termes de croissance ou de rendement.

Les réponses des plantes au stress salin ont été étudiées par l'usage des approches anatomiques, écologiques, physiologiques et moléculaires.

Des modifications morphologiques et anatomiques au niveau de la plante sont capables de minimiser les effets indésirables du stress salin (Poljakoff-Mayber, 1988).

En effet, pour atténuer l'effet de la toxicité dans les milieux hautement concentrés, les plantes, aussi bien les halophytes que les glycophytes, peuvent développer plusieurs mécanismes pour assurer leur cycle de croissance et de développement. Certaines espèces utilisent le mécanisme d'exclusion des sels en excès (Zid et Grignon, 1991 ; Alem et Amri, 2005) ou les compartimentent dans la vacuole.

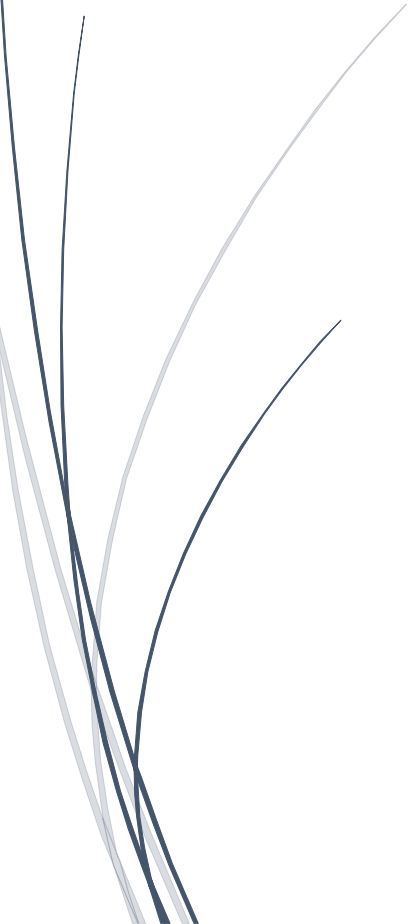
L'objectif de notre travail est d'étudier l'effet de la salinité non seulement à l'échelle des différents sols, mais aussi sur les mécanismes de réponse de la plante (*Phaseolus vulgaris* L.) vis-à-vis des différentes concentrations de sel (NaCl + CaCl₂) sur un sol sableux avec ou sans bentonite.

Afin de caractériser cette réponse dans nos conditions expérimentales, nous abordons cette étude par une analyse physico-chimiques des sols de trois stations (Benabdelmalek Ramdan, Sidi Lakhdar et Achaacha) ;

- Réponse morphologique des racines et des tiges aux contraintes de la salinité ;
- Etude anatomique des tiges et des racines ; visualisation microscopique et examen des corrélations possibles entre les modifications anatomiques et les niveaux de salinité.
- L'importance de l'utilisation de la bentonite en culture de l'Haricot.
- La différence entre la culture sous-sol et la culture hydroponique.

Enfin nous achevons ce modeste travail par une extraction et dosage de la proline de cette plante conduite en conditions stressantes.

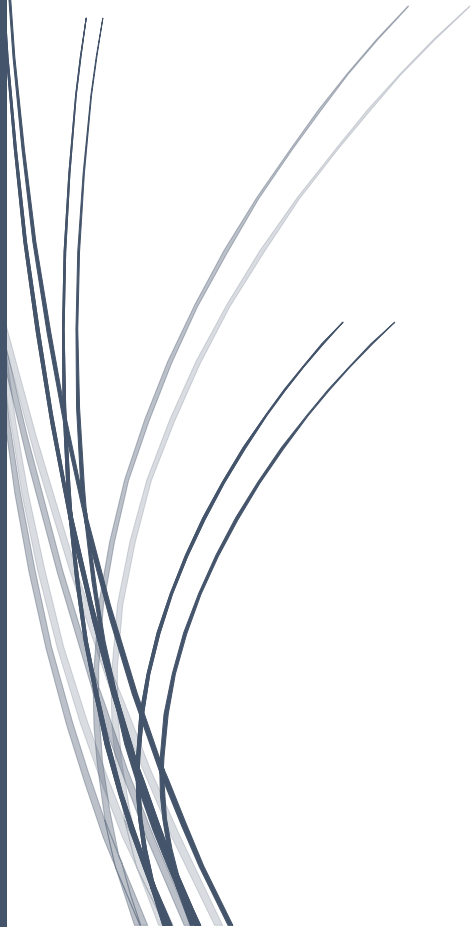
Partie Bibliographique





Chapitre I

Bentonite.



Chapitre I : Bentonite.

I.1. Généralités

La bentonite contient des minéraux argileux qui améliorent fortement les cohérences des grains de sables. Il y a aura plus de cohérence dans la structure du sol. Grâce à quoi il desséchera moins vite et retiendra mieux des nutriments. Les plantes fortement plus facilement des racines et apparaîtra une vie de sol plus riche.

Sols sableux sont particulièrement défavorisés à la fois par le fort déficit hydrique et leur faible capacité de rétention. Ils sont donc, compte tenu de leurs caractéristiques physiques et physico-chimiques, Le principal objectif de notre travail expérimental de laboratoire est donc d'étudier quelle pourrait être l'amélioration des propriétés physiques en relation avec la rétention de l'eau d'un sable additionné d'argile provenant d'un gisement naturel (Mohamed et Daniel, 2006).

Selon El-jaafri *et al.* (1993), la bentonite est une roche argileuse, riche en montmorillonite (+ 70%), avec une capacité d'absorption et d'échange cationique élevée et ayant la propriété de gonflement remarquable.

La bentonite est largement utilisée dans de nombreux secteurs industriels (pharmacie, cosmétique, chimie, génie civil, agroalimentaire ...). Elle est utilisée sous forme pâteuse ou à l'état de poudre (fig. 1) pour la réalisation de barrières étanches pour les déchets industriels et ménagers (géomembranes bentonitiques) et les déchets radioactifs (barrières ouvragées ; poudre compactées). A l'état liquide, la boue de bentonite se définit comme une suspension eau-argile. L'origine de l'usage de la boue est sans aucun doute les forages pétroliers. Elle permet, du fait de ses propriétés rhéologiques, de faire face aux nombreuses exigences du forage, telles que la stabilité de l'ouvrage (par imprégnation du terrain et par fabrication d'un cake pour limiter la filtration vers la paroi) et l'évacuation des déblais (Jozja, 2003).

La bentonite connaît beaucoup d'application dans le domaine agricole parmi les quelles on peut citer :

- Elle permet de mettre en valeur les terres à texture légère, comme additif dans l'élevage car elle atténue la vitesse de décomposition de l'urée après l'ingestion.
- Pour la protection contre les insectes et dans la médecine vétérinaire.
- Comme couche imperméable permettant de protéger les eaux souterraines contre toute contamination par les éléments chimiques dus à l'utilisation agricole (engrais) ou industrielles.

- Elle peut se mélanger avec le fumier ou autres excréments d'animaux, et est utilisée comme un agent de déshydratation.
- Pour l'enrobage des engrais (la médecine vétérinaire) (Halitim, 1988).

La bentonite appliquée aux sols sableux, a donnée d'excellents résultats, vu que les sols sont enrichis par des composantes argileuses qui augmentent la rétention d'eau et d'éléments fertilisants. Signalons que la bentonite en se gonflant, retient un volume assez important d'eau, sa particularité de gonflement est exploitée pour aérer le sol et pour le rendre plus perméable. Par exemple chez le blé dur, l'incorporation de 10% de bentonite au sol permet d'obtenir des rendements plus élevés entre 18,11 Qx.ha1 à 35,04 Qx.ha1 (Halitim, 1988).



Figure 1. Bentonite en poudre.

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



- R = Mg, Fe, Mn, Zn, Ni
- Ce (Cations échangeables) = Ca, Na, Mg.

La bentonite est une argile douée de propriétés de surface (caractère, affinité pour l'eau, capacité d'adsorption de composés électropositifs...).

Ses caractéristiques physico-chimiques, les propriétés clarifiants de bentonites d'origines. Diverses firent l'objet de nombreuses études.

En Algérie, les gisements de bentonite les plus importants à rendement considérable sur le plan économique se localise essentiellement à l'ouest d'Algérie, région d'Oran.

On relève en particulier la carrière de Maghnia (Hammam Boughrara) dont les réserves sont estimées à un million de tonnes et de celle de Mostaganem (M'zila) avec des réserves de deux millions de tonnes (Abdelouhab *et al.*, 1988).

L'argile fait l'objet de notre étude d'où il est connu sous le nom : « La Bentonite » ; qui a été récupéré d'un gisement situé à 17 km au Nord-est de Mostaganem (M'zila) et comprend 14 couches. Ce gisement constitue une réserve naturelle de 2.230 milliers de tonnes (Bendjama, 1984).

Le mélange sable et argile (spécialement la bentonite) contribue à un composé de faible perméabilité à l'eau ; qui possède une parfaite stabilité des grains de stables ceci en dépit de la nature contraste des propriétés physiques des constituants en termes de dimension des grains et de l'activité chimique (Halilat et Tessier, 2006).

Elle désigne généralement une poudre minérale constituée essentiellement d'argile de montmorillonite (famille des smectites). Dans leur état naturel, la plupart des gisements de bentonite sont hétérogènes ; ils sont constitués de smectites mélangées ou inters ratifiées avec l'illite et/ou la kaolinite et d'autres impuretés (Kouloughli, 2007).

I.2. Structure et composition de la Bentonite

La montmorillonite (fig. 2) est le constituant principal de la bentonite (Bouazza, 2012). La montmorillonite provient de la transformation naturelle des cendres volcanique dans l'altération s'est produit il y a des milliers d'années par lessivage alcalin ou acide (Thomassin *et al.*, 2008). Elle fut découverte pour la première fois en 1847 dans la montagne de Montmorillon dans la Vienne (France) (Demir *et al.*, 2003). La montmorillonite c'est un phyllosilicates 2:1 (famille de smectites) dans lequel la charge négative de la couche est électriquement équilibrée par une charge égale, des cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , K^+ , NH et Na^+) situés principalement entre ces couches silicates; ces cations ne font pas partie de la structure et garde une certaine mobilité (Bouazza, 2012).

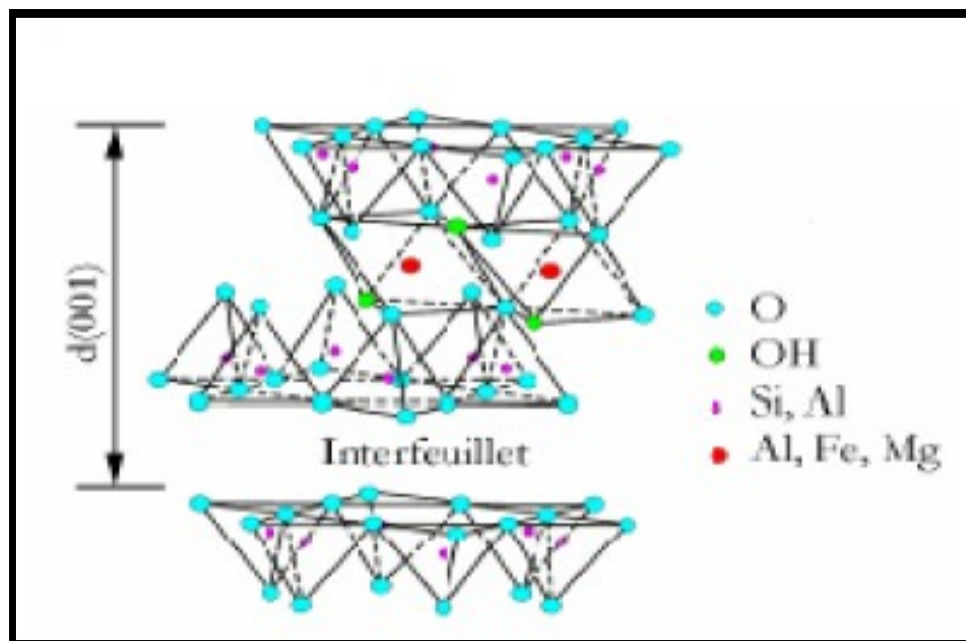


Figure 2. Structure idéale de la montmorillonite et de la beidellite
(Luckham et Rossi, 1999).

I.3. Utilisation de la bentonite

Les bentonites se caractérisent principalement par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique, et de gonflement, ainsi que par des propriétés rhéologiques particulières (thixotropie).

Elles ont de ce fait de larges applications ; plus diverses dans différents domaines (Forage, Fonderie, Céramique, Peinture, Pharmacie, terres décolorantes...etc). La majeure partie de la bentonite exploitée dans le monde est utilisée comme liant du sable de moulage, dans l'industrie de la fonderie et aussi pour épaissir les fluides de forage (Jozja, 2003).

Pour de nombreuses applications techniques, les bentonites brutes doivent être soumises à une préparation adaptée aux exigences de leur utilisation (activation). Ainsi, lors de l'activation alcaline, les bentonites calciques (les plus fréquentes) sont transformées par traitement avec de la soude en bentonites de sodium, qui se caractérisent notamment par une capacité de gonflement plus élevée. L'activation avec des acides comme l'acide chlorhydrique augmente la porosité par dissolution périphérique des smectites. Il en résulte un produit de haute capacité d'adsorption (Bougdah, 2007).

Elles sont utilisées pour des opérations de clarification ou de stabilisation protéique des moûts et des vins. Les bentonites fixent certaines protéines instables et permettent ainsi leur élimination. Les bentonites sont capables de fixer de la matière colorante (Julien, 2009).

I.4. Propriétés des argiles

Les propriétés bien spécifiques des minéraux argileux sont dues à la petite taille, la structure en feuillets et la charge négative des particules, formant ainsi avec l'eau des solutions colloïdales qui flocculent lorsque les charges de surfaces des particules sont neutralisées par des ions.

Ce phénomène est réversible : les particules retrouvent l'état dispersé lorsque les ions sont éliminés par rinçage. Les argiles fixent l'eau par adsorption à leur surface et augmentent de volume par gonflement (Achour et Youcef, 2003).

Elles constituent ainsi une réserve d'eau. L'argile sèche développe une tension de succion importante pour l'eau qui peut s'opposer à celle des racines des plantes. Avec adjonction croissante d'eau, la tension de succion diminue, l'ensemble eau- argile devient plastique, puis visqueux et finalement les particules d'argiles se dispersent dans l'eau en formant une solution colloïdale. L'argile imprégnée d'eau qui se dessèche se rétracte et se casse par des fentes de retrait (Achour et Youcef, 2003).

I.5. Types de bentonite

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

- Hydratation interne ou gonflement
- Le caractère dipolaire des molécules d'eau a donné naissance à une ancienne théorie qui en résulte à dire et à conclure que la surface des argiles étant chargée négativement, les molécules d'eau s'orientaient de façon que leur extrémité positive soit dirigée vers l'argile et leur extrémité négative vers l'extérieur. Cette première couche d'eau forme alors, une nouvelle surface négative ou d'autres molécules peuvent se fixer et ainsi de suite. Ainsi on distingue plusieurs types de bentonites (Bougdah, 2007):

I.5.1. Bentonites naturelles

En fonction de la nature du cation échangeable présent au niveau de la bentonite, il existe à l'état naturel deux types de bentonites :

Les sodiques, où le sodium est le cation échangeable majoritaire, possédant un fort pouvoir de gonflement et d'adsorption.

Les bentonites calciques, où le calcium est le cation échangeable majoritaire, elles ont un pouvoir de gonflement et d'adsorption plus faible que les bentonites sodiques. Ces deux types de bentonites, éventuellement après un séchage à 80-90°C, sont simplement broyés avant leur commercialisation (Bougdah, 2007).

I.5.2. Bentonites activées

Afin d'améliorer les propriétés d'adsorption des bentonites calciques, ces dernières sont le plus souvent activées par du carbonate de sodium puis séchées et broyées ; on obtient ainsi des bentonites calciques activées dont les propriétés sont également supérieures à celles des bentonites sodiques.

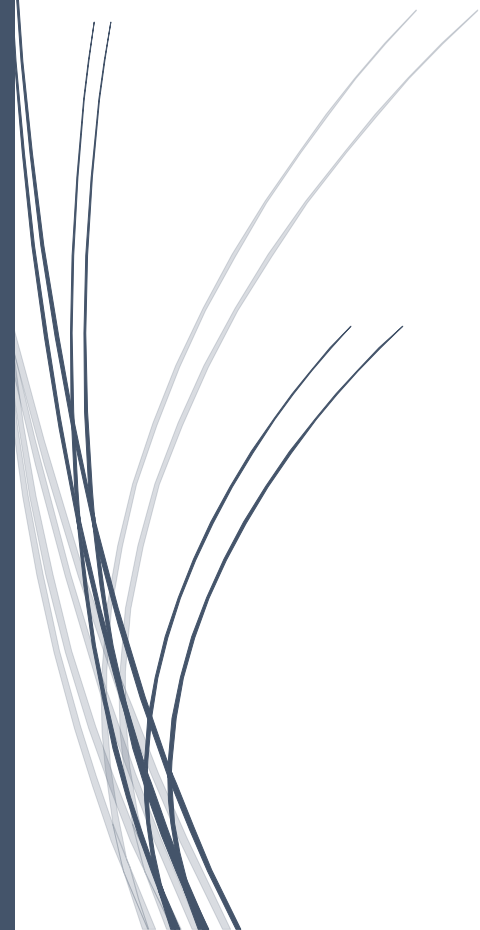
Les propriétés de ces bentonites activées ou permutées sont moins stables dans le temps (3 à 18 mois) et dépendent de l'activation et des taux de teneur en magnésium, en calcium et en sodium. Ces différents types de bentonites se présentent sous forme de poudre ou de granulés sphériques ou cylindriques. Elles ont des couleurs très variables allant du blanc pour les produits les plus purs au gris, beige ou vert pour les autres (Bougdah, 2007).

I.6. La capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange correspond à la quantité totale des cations qu'un sol ou un milieu peut adsorber et échanger dans des conditions de pH bien définies, on l'exprime en méq par 100g (Lozet et Mathieu, 1990). Ces sites échangeables sont essentiellement liés à la présence de charges négatives permanentes à la surface de certains minéraux argileux ou à des charges variables de la matière organique (Schwerthmann et Taylor, 1977). Les minéraux argileux ont une capacité d'échange de cations qui dépend de leur nature (Saoudi, 2001).

Chapitre II

Salinité des sols.



Chapitre II : Salinité des sols

II.1. Définition

Un sol, une eau d'irrigation ou une solution nutritive sont salés lorsqu'ils contiennent des concentrations anormalement élevées en chlorures, sulfates carbonates ou bicarbonates de sodium, calcium ou magnésium.

Ce phénomène a inquiété les hommes qui ont longtemps cru que la terre était une source infinie de richesse de toute nature. Depuis, il y a de cela quelques décennies qu'il fallait se mettre à l'évidence que les ressources naturelles sont limitées dans temps et dans l'espace.

Depuis le début du XX siècle la superficie des terres agricoles touchées par la salinité c'est à dire une teneur excessive en sels minéraux notamment NaCl, ne cesse d'augmenter.

La salinisation enregistrée dans les écosystèmes arides et semi arides résulte de forte évaporation d'eau du sol (Munns, 2002) et d'une pluviométrie insuffisante (Moinuddin *et al.*, 2005). Cette salinisation provient aussi de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (Bennaceur *et al.*, 2001).

Chaque année les surfaces perdues à cause de la salinité des sols varient autour de 20 millions d'ha dans le monde.

Ainsi ces surfaces sont passées de 48 millions à 265 millions d'ha de terres agricoles touchées par la salinité et aujourd'hui les surfaces agricoles affectées dans le monde seraient de 340 millions d'ha soit 23% des terres cultivées dans le monde (Chevry, 1993).

Selon Skiredj (1991), un milliard d'ha est menacé dont 3,2 millions d'ha en Algérie. La salinité a eu des effets sur l'agriculture depuis très longtemps. Depuis cinq mille ans, les peuples de la Mésopotamie ont cultivé le Croissant fertile des rivières du Tigre et de l'Euphrate (actuellement Turquie et Iraq), une des terres agricoles les plus riches du monde de l'époque. Quand le sel a commencé à s'accumuler dans le sol, résultat de lessivage et de drainage inadéquate de l'eau d'irrigation, la principale culture pratiquée a changé du blé à l'orge qui est plus tolérante à la salinité. Par la suite, les sels se sont accumulés au point que rien ne peut croître et la terre a été abandonnée.

Dans ces régions, les sols sont perturbés à la fois dans leur activité biologique, leur stabilité et leur fertilité. Ils sont sans cesse soumis à une grande variabilité physico-chimique du notamment à la présence de NaCl (Antipolis, 2003).

De ce fait ces changements imposent la réflexion sur les stratégies à entreprendre pour comprendre les mécanismes mis en jeu par les plantes afin de s'adapter aux nouvelles

conditions de l'environnement et de maintenir leur croissance et leur productivité (Belkhdja et Bidai, 2004).

II.2. Action de la salinité sur les végétaux

Les sols salés couvrent de grandes superficies dans le monde, leur distribution se superpose presque entièrement à celle des régions arides, semi-arides et côtières. Ces surfaces constituent un problème actuel ou potentiel de salure et représentent 24 % de la couverture totale des terres dans le monde (Daoud, 1993).

Dans la région méditerranéenne les sols salés sont présent essentiellement dans les zones arides et semi-arides ou la pluie est insuffisante pour assurer le lessivage nécessaire des sels particulièrement pour les cultures sous abris où les apports d'engrais sont trop importants par rapport aux stricts besoins de la plante (Cornillon *et al.*, 1994).

II.3. Importance de la salinité

La teneur en sels est le critère le plus important pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Cette teneur peut être exprimée en termes de conductivité électrique ou en ppm ou meq/l. La concentration totale est plus importante car la plupart des cultures répondent à la concentration ionique totale du milieu de croissance (effet osmotique) plutôt qu'à un ion spécifique. Généralement, une augmentation de la teneur en sels dans l'eau d'irrigation résultera dans une augmentation de la salinité de la solution du sol. La vitesse et le degré de cette augmentation dépendront de :

- Lessivage, c'est-à-dire la quantité d'eau apportée par irrigation ou par des pluies en besoins de la culture et l'efficacité du lessivage,
- La composition ionique de l'eau d'irrigation et la tendance de quelques ions, tels que Ca^{++} , HCO_3^- , SO_4^{--} , à précipiter après l'extraction de l'eau du sol,
- Propriétés physiques du sol tel que l'infiltration, les caractéristiques hydriques et le drainage (Antipolis, 2003).

La salinité peut suivant la dose de sel avoir un effet stimulateur sur la croissance et le développement de la plante, cet effet stimulateur a été démontré par (Reynolds et Arias, 2001). La salinité présente des effets bénéfiques sur la germination et la croissance de quelques espèces à des niveaux très faibles (bien que non quantifiés par les auteurs) de NaSO_4 , de NaCl , de MgSO_4 et de NaCO_3 (Asloum, 1990).

II.4. Définition de sols salés (sols halomorphes)

Les sols salins sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Ils sont là où l'évaporation excède les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire, ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eaux marines) (Girard *et al.*, 2005).

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles, ou par la richesse de leur complexe absorbant en ions, provenant de ces sels et susceptibles de dégrader leurs caractéristiques et propriétés physiques, en particulier leur structure.

On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse 0,5 g/l (Robert, 1996). Selon Calvet (2003) un sol est dit salé quand la conductivité électrique est supérieure à 4 ds/m.

Génétiquement, les sols sont constitués par deux unités très différentes, les salisols, dans lesquels les sels de sodium, de calcium ou de magnésium sont sous la forme soluble de sels simples ou complexes. Les sodisols à complexe sodique dans lesquels les cations, essentiellement le sodium sont sous la forme échangeable, les sels solubles étant très peu abondants (Bouteyre et Loyer, 1992).

II.5. Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation

Selon Wyn Jones et Gouston (1991), la salinisation des sols peut être due à La lixiviation des sels solubles et/ou à l'évaporation, qui déposent leurs sels dans les sols.

En régime, non saturé, la remontée capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau (Raju *et al.*, 1993).

II.6. Origine de la salinité

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

Les sels solubles représentent toutes les espèces chimiques plus solubles à l'eau que le Gypse. Leur concentration globale est généralement exprimée par la conductivité électrique qui représente en réalité la conductivité électrolytique (Halitim, 1988). En Algérie, les sels les plus fréquents dans les régions arides et semi-arides sont surtout les

chlorures et les sulfates de sodium, les sulfates de magnésium et à un moindre degré les carbonates de sodium (Servant, 1978 ; Halitim, 1988).

II.7. Différents types de salinisation

II.7.1. Salinisation géologique

La source principale de sels dans le sol est les minéraux naturels de la croûte terrestre (Bryssine, 1961). En effet, durant le processus d'altération chimique, qui implique l'hydrolyse, l'hydratation, la dissolution, l'oxydation et la carbonatation, les sels sont libérés progressivement avant de subir une solubilisation. Cependant les causes premières de salinité sont fréquemment éloignées dans l'espace, du territoire prospecté (Gaucher et Burdin, 1974).

Dans la plupart des cas les sels sont apportés au sol par l'eau qui contient des sels solubles dont la nature et la concentration dépendent des matériaux géologiques avec lesquels l'eau a été en contact.

II.7.2. Salinisation par les eaux

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

- La composition de cette eau, qui à son tour est fonction de la teneur en sel du sol et des matériaux géologiques avec lesquels elle a été en contact.
- Le bilan entre l'apport d'eau d'irrigation à la surface du sol et le déplacement de l'eau de drainage de la limite intérieure du profil (Girard *et al*, 2005).

En outre, les nappes des zones arides et semi-arides véhiculent des eaux souvent chargées en sels solubles, la source la plus importante de ces sels reste l'eau d'irrigation. Ainsi l'augmentation du niveau de la nappe phréatique, due à l'irrigation, favorise l'accumulation des sels en surface et ce, suite à une évapotranspiration intense. (Stitou El Messari, 2002), ont montré que des irrigations sans contrôle rigoureux des doses d'eau apportées et l'absence de drainage, ont entraîné une accumulation importante de sels dans le Profil par remonter capillaire de la nappe.

II.8. Conditions climatiques et salinisation

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

Un régime irrégulier des précipitations avec une dominance des averses brutales qui sont

séparées par des périodes de sécheresse. Ce mécanisme de mobilisation des sels est assuré par les averses, qui peuvent éventuellement détacher des matériaux solides salés à partir des gisements originels et les transporter par ruissellement. Ces eaux vont par la suite s'accumuler dans des zones de dépression et causer ainsi une remontée du niveau phréatique.

Une saison sèche prolongée, pendant laquelle la chaleur et l'insolation provoquent une évaporation intense ce mécanisme s'opère en période sèche, il est le résultat d'une évaporation qui provoque l'ascension des sels par remontée capillaire (Girard *et al*, 2005).

II.8.1. Salinisation par fertilisation

A cause de leurs indices de salinité très élevés (tableau 1), les fertilisants comme les nitrates et les engrais potassiques (chlorure de potasse) induisent la réduction de la perméabilité du sol et l'accumulation de sels.

Tableau 1. Indice de salinité de certains engrais (Tisdale *et al*, 1985).

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

Le terme indice de salinité s'applique à l'impact d'un élément en solution dans un sol par rapport au nitrate de sodium, qui est le point de référence 100. Il indique l'aptitude d'un engrais à brûler quand il est en contact avec la graine dans le sol, car certains éléments fertilisants placés près des graines ou au pied des plantes augmentent la pression osmotique de la solution du sol et par voie de conséquence provoquent des pertes sévères de récolte (Maillard, 2001).

II.9. Classification des sols sales

Basé sur la concentration en sel et le rapport $Na / (Ca + Mg)$, les sols ont été classifiés comme salin, sodique ou salin-sodique. La concentration totale en sels est habituellement mesurée par la conductivité électrique, EC dans les unités de $dS\ m^{-1}$, où $1\ dS\ m^{-1}$ est approximativement égal à une concentration de 10 mM du sel qui dissocie en deux ions

monovalents quand ils sont en solution (par exemple NaCl). Les sols salins sont généralement définis en tant que ces sols ayant une EC de 4 dS m^{-1} ou plus. Des sols sodiques sont définis en tant que ces sols qui ont un rapport d'adsorption de sodium (SAR) supérieur à 15. Le SAR est calculé comme suit : $SAR = [Na^+]/[Ca^{2+} + Mg^{2+}]^{1/2}$ (Cramer, 2002).

Tableau 2. Caractéristiques des sols salins (Maillard, 2001)

Caractéristiques	Sols salins
<i>Chimique</i>	<p>Dominé par des sels solubles neutres : chlorure et sulfates de sodium, calcium et magnésium.</p> <p>pH de l'extrait de sol saturé généralement de moins de 8.2 (8.7 dans d'autres ouvrages).</p> <p>Une électro-conductivité (EC) de l'extrait de sol saturé de plus de 4 dS/m à 25°C est en général la limite acceptée. Cependant le "Soil Science Society of America" établi une limite à 2 dS/m</p> <p>Généralement pas de relation bien définie entre le pH de l'extrait de sol saturé et l'ESP ou le coefficient d'absorption du Sodium (Sodium Absorption Ratio ou SAR) de l'extrait de sol saturé.</p> <p>Des quantités appréciables de composés calciques solubles peuvent se trouver (tel que le gypse).</p>
<i>Physique</i>	<p>En présence excessive de sels solubles neutres. La fraction argileuse est floculée et le sol est stable.</p> <p>La perméabilité à l'eau et à l'air de ces sols est généralement comparable à ceux des sols « normaux ».</p>
<i>Effet sur la croissance des plantes</i>	<p>La croissance des plantes est affectée par l'action des sels solubles sur la pression osmotique de la solution du sol résultant en une diminution de disponibilité en eau.</p> <p>Toxicité des ions tels que les ions Na, Cl, B, etc.</p>
<i>Amélioration du sol</i>	<p>L'amélioration des sols salins se fait par le lessivage des sels solubles dans la zone racinaire du sol. L'application d'amendements n'est généralement pas nécessaire.</p>

Selon Duchaufour (1983), deux sous classes de sols halomorphes sont distinguées :

II.9.1. Sols à complexe sodique ou sols alcalins (les solonetz)

Caractérisés par une saturation marquée en Na et une accumulation des sels en profondeur. Ces sols se caractérisent par la présence d'une quantité importante de sodium qui dépasse les 15% de le C.E.C. (Capacité d'Echange Cationique). La conductivité électrique (C.E) ne dépasse pas 4 ds/m à 25°C, et le pH est supérieur à 8,5.

La relative abondance de l'ion sodium, dans la garniture ionique absorbant, peut avoir deux origines distinctes :

- Elle peut provenir du sodium libéré par l'altération de certains minéraux alcalins.
- Elle peut résulter d'une saturation progressive du complexe en sodium, aux dépens d'une solution saline (Duchaufour, 1983).

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

II.9.2. Sols salins à complexe calcique (Solontcheks)

Caractérisés par une accumulation marquée des sels solubles en surface.

Ces sols se rencontrent dans les zones à climat sec. Ils se caractérisent par un pH généralement inférieur à 8,5 et supérieur à 7 et le sodium n'y forme pas plus de 50% des cations en solution (Dajoz, 1982). La conductivité électrique de l'extrait aqueux à saturation, est supérieure à 4,5 ds/m à 25°C, dans les horizons de surface (25 cm) ; 15 ds/m dans les horizons inférieurs (suivant la texture) (Duchaufour, 1983) ; avec un taux de sodium échangeable (E.S.P) inférieur à 15% de la C.E.C du sol.

Ces sols présentent une structure non dégradée, caractérisés par une richesse en sels solubles, tels qu'ils inhibent la croissance de la plupart des plantes cultivées (Aubert, 1978).

Tableau 3. Classe de la salinité des sols (Maillard, 2001)

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

II.10. Répartition géographique et importance des sols affectés par la salinité

Les sols salés occupent une superficie de 950 millions d'hectares (Zid et Grignon, 1991). Il n'a été estimé que 20% des 275 millions d'hectares des terres irriguées (Flowers et Flowers, 2005) et 15% (227 millions d'hectares).

En Afrique du nord et au Moyen-Orient, elle couvre près de 15 millions d'hectares, dont 15% sont dépourvus de toute végétation (Lehouerou, 1986).

Quinze millions d'hectares de terres agricoles sont touchées par une salinité croissante des sols au Maghreb, au Moyen-Orient (Ben ahmed *et al.*, 1996). Ainsi, en Tunisie, les sols salés couvrent environ 10% de la superficie globale du pays, soit à peu près 25% de la surface totale des sols cultivables (Ben ahmed *et al.*, 2008). En Egypte, 35% des aires cultivées sont salinisées, 90% d'entre elles souffrent d'engorgement (Mainguet, 2003).

En Algérie les zones semi-arides et arides couvrent près de 95% du territoire (Benkhelifa *et al.*, 1999). Les sols salés sont très répandus dans les régions arides, représentant environ 25% de la surface (Halitim, 1988) soit 3,2 millions d'hectares (Hamdy, 1999).

II.11. Mise en valeur des sols salés

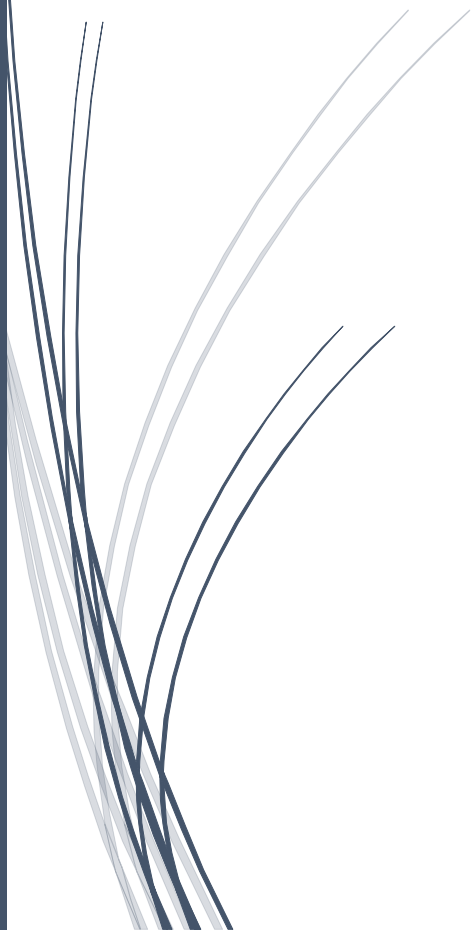
Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite :

- L'élimination des excès en sels (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée). Ces pratiques seront d'autant plus aisées que le sol est perméable et que l'eau (pluie, irrigation) est abondante et de bonne qualité.
- L'utilisation des plantes résistantes à la salinité.
- La reconstitution de la fertilité par des amendements qui enrichissent les argiles en calcium échangeable.

Des pratiques culturales particulières, labour de défoncement, ratissage des sels en surface (Girard *et al.*, 2005).

Chapitre III

Salinité et plante.



Chapitre III : Salinité et plante.

III.1. Stress

III.1.1. Définitions du stress

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 génotype) (Hopkins, 2003).

Selon Dutuit *et al.* (1994), le stress est le dysfonctionnement (rupture d'un équilibre fonctionnel) produit dans un organisme ou dans un système vivant, par exemple par une carence.

Le stress est un ensemble de conditions qui provoquent des changements de processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement. D'après Jones *et al.* (1989) "C'est une force ou influence hostile qui tend à empêcher un système normal de fonctionner".

Au niveau d'un écosystème par exemple, toute contrainte externe qui limite la productivité de la potentialité génétique d'une plante peut être considérée comme stress (Grime, 1979).

III.1.2. Catégories de stress

Les plantes sont souvent confrontées à des conditions environnementales défavorables qu'on peut dénommer « stress » et qui ont pour conséquence une diminution de la croissance. Tous les stress impliquent des réactions de signalisations capables d'aboutir à la mise en place de défense ou de déclencher une mort cellulaire programmée.

On distingue deux grandes catégories de stress :

Biotique : imposé par d'autres organismes (insectes, herbivores...).

Abiotique : provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité...

Les stress abiotiques ou environnementaux affectent la croissance et le rendement des plantes, contrairement aux animaux qui peuvent se déplacer lorsque les conditions de vie ne leur sont plus favorables. Les plantes ont développé des stratégies d'adaptation pour répondre aux chocs chimiques ou physiques, engendrés par l'environnement en contrôlant et en ajustant leur système métabolique (Levitt, 1980 ; Zhu, 2002 ; Vincent, 2006).

On peut considérer que la notion de stress implique, d'une part, une déviation plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante ou de l'animal ; et d'autre

part une réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie, avec soit une adaptation à la nouvelle situation, soit à la limite dégradation menant à une issue fatale (Leclerc, 1999).

Pour survivre, la plante doit échapper ou éviter le stress. Nous citerons le cas des géophytes et des hémicryptophytes en hiver, grâce à leurs parties souterraines ou très proches du sol, également les thérophytes printanières qui évitent de pousser pendant la saison froide et la saison chaude (Leclerc, 1999).

Dans le cas du stress salin, la présence de fortes concentrations de sels dans le milieu crée une pression osmotique élevée dans l'environnement racinaire, réduisant la disponibilité de l'eau du sol pour la plante. A ce déficit hydrique s'associe un stress ionique dont l'ampleur dépend de la perméabilité des membranes végétales vis-à-vis des ions, et du niveau de toxicité des ces ions pour l'espèce végétale considérée (hamza, 1980). Le maintien des processus vitaux dans ces conditions de forte salinité passe donc par une résistance de la plante à la déshydratation, par une adaptation de son potentiel osmotique afin de rétablir les relations hydriques et d'assurer une alimentation en eau convenable, ainsi que par un contrôle efficace des flux ioniques intracellulaires (Chretien, 1992).

III.1.2.1. Stress salin

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

La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées (Levigneron *et al.*, 1995).

Ces mêmes auteurs précisent que, les conséquences d'un stress salin peuvent résulter de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes ;

III.1.2.2. Stress hydrique

Une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique adapté, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire et à celui du sol. Ce phénomène assure d'une part, la poursuite de l'absorption de l'eau du sol, et d'autre part, la rétention de l'eau intracellulaire et le maintien de la

turgescence. Lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules, ce qui provoque un déficit hydrique et la perte de la turgescence (Cramer, 2002).

III.1.2.3. Stress ionique

En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique (Bennaceur, 2004).

III.1.2.4. Stress nutritionnel

Des concentrations salines trop fortes dans le milieu, provoquent une altération de la nutrition minérale, en particulier vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires. Le sodium entre en compétition avec le potassium et le calcium, le chlorure avec le nitrate, le phosphore et le sulfate (Levigneron et al., 1995).

III.1.3. Action du Stress sur les végétaux

Le stress (du latin stringer : porter atteinte à l'équilibre) est une déviation significative des conditions optimales pour la vie. Il implique des réponses à tous les niveaux de l'organisme. Selon Greenway et Munns (1980), le stress est une contrainte qui peut se résumer à une ou plusieurs forces de déformation appliquées à un corps. Cette contrainte modifie les dimensions et la forme du corps. Selon le même auteur, deux types de déformation plastique existent ;

a) Déformation élastique « stress avoidance » souvent réduit au terme de résistance. L'organisme inhibe ou réduit la pénétration du stress (e.g., substance toxique) dans ses tissus. L'organisme augmente ainsi le niveau de stress nécessaire pour un même niveau de tension interne,

b) Déformation plastique « stress tolerance » souvent réduit au terme de tolérance. L'organisme absorbe l'agent stressant pour rétablir l'équilibre thermodynamique avec son environnement sans subir de blessure irréversible tout en poursuivant sa croissance.

Parmi les facteurs du stress il existe des facteurs de l'environnement biotiques ou abiotiques qui stabilisent l'organisme parce qu'ils représentent une carence, un excès, une action très rapide ou trop lente ou encore une atteinte à l'intégralité du végétal. Selon (Hopkins, 2003) on peut distinguer deux stress abiotiques, la sécheresse et la salinité.

III.1.4. Métabolisme

Les changements qui se produisent au niveau du métabolisme primaire font partie de la réponse générale des plantes au stress. Le métabolisme de type CAM correspond à une réponse

majeure de nombreuses plantes pour survivre dans des conditions de milieu très sec (Chenais *et al.*, 2003).

Le métabolisme azoté est lui aussi affecté par le déficit hydrique. Belkhodja et Ait-Saadi (1993), ont mis en évidence chez la tomate l'accumulation d'un transcrit au cours du stress hydrique.

III.1.4.1. Ajustement osmotique

Lors d'un stress hydrique de faible intensité, le potentiel hydrique de la plante peut être maintenu par un ajustement osmotique. Cet ajustement implique l'accumulation, au niveau cellulaire, de sucres, d'acides aminés, d'ions ou d'autres solutés compatibles (c'est-à-dire non toxiques).

L'accumulation d'osmolites permet de créer un influx d'eau dans la cellule ou tout du moins d'éviter un efflux, en augmentant la force de rétention des molécules d'eau. Le maintien de cette quantité d'eau permet ainsi de conserver la turgescence nécessaire à la croissance des cellules. Il semblerait que cette accumulation d'osmolites soit reliée au maintien de l'intégrité des protéines et des membranes. Leclerc (1999) a par exemple montré que la structure d'une glutamine synthase de riz était fortement maintenue en présence de glycine-bétaïne, lors d'un stress hydrique.

L'accumulation d'osmolites semblerait aussi reliée à la protection des cellules contre les espèces activées de l'oxygène. Cependant, une augmentation d'osmolites n'est pas toujours reliée à une augmentation de la tolérance (Adda, 1996).

III.1.4.2. Ajustement structural

Une des principales modifications structurales, observée sur des plantes ayant subi un déficit d'alimentation en eau, concerne l'altération des propriétés physico-chimiques des parois cellulaires. Ces changements peuvent être induits par des modifications au niveau des enzymes impliquées dans la biosynthèse des monolignols ou dans leur assemblage dans la paroi (Driouich et Rachidai, 1995). L'augmentation de l'expression de ces gènes peut être reliée à l'arrêt de la croissance, et à l'épaississement de la paroi. Un autre composant majeur de la paroi correspond aux composés issus de la polymérisation des sucres (cellulose et hemicellulose).

III.1.4.2.1. Sécheresse

Une sécheresse est une longue période de temps pendant laquelle les quantités des précipitations sont en dessous des statistiques dans une région, La sécheresse peut être considérée comme un catalyseur de la désertification car elle affecte la structure du sol et

provoque des changements dans la végétation. Le passage contrasté d'épisodes de sécheresse et de pluies diluviennes, fragilise la structure du sol, accélère l'érosion et le processus de désertification (Requier-Des Jardins et Caron, 2005).

Le terme de sécheresse est toujours lié à un déficit de la pluviométrie toutefois lorsque ce déficit est systématique on parle d'aridité.

L'aridité traduit des conditions climatiques caractérisées par la faiblesse des précipitations moyennes annuelles (moins de 250 mm d'eau par an) mais aussi par leur irrégularité dans l'espace et dans le temps et par une forte évapotranspiration (Alem et Amri, 2005).

La sécheresse se définira alors par l'intensité de sa déviation par rapport aux valeurs moyennes ou normales de pluviométrie, avec des éléments quantitatifs sur sa durée, sa période d'occurrence et son extension géographique (Achour et Youcef, 2005).

La sécheresse affecte l'état des végétaux et se traduit par un ralentissement de l'activité photosynthétique de la végétation entraînant une diminution de la production, notamment pour les cultures et les fourrages (Seemann et Critchley, 1985).

III.1.4.2.2. Conséquences de la sécheresse sur le fonctionnement des plantes

La diminution de la photosynthèse, liée à la diminution de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire est due essentiellement, à la réduction de la pénétration du CO₂, limité par une fermeture des stomates (Francois *et al.*, 1984).

Le contrôle de la régulation stomatique fait intervenir la turgescence cellulaire mais également des messagers racinaires comme l'acide Abscissique «ABA» (Driouich et Rachidai, 1995). Dans une telle situation, l'altération de l'état hydrique de la feuille peut conduire à augmenter la sensibilité des stomates à l'ABA (Zid, 1982).

Le manque d'eau réduit aussi la production de matière sèche (Chenais *et al.*, 2003).

La sécheresse ralentit la synthèse protéique ; en revanche la synthèse de certains acides aminés (Asparagine, Proline.) est stimulée (Bonneau et Souchier, 1994).

III.1.4.2.3. Adaptation des plantes à la sécheresse

Les stratégies d'adaptations généralement retenues sont l'échappement, l'évitement et la tolérance.

Les plantes tolérantes, qui sont surtout des plantes vivaces, sont capables de supporter une déshydratation assez poussée de leurs tissus et sont capables d'ajustement osmotique, ce qui permet le maintien de la turgescence. Elles retardent la fermeture de leurs stomates, propriété dénommée « ajustement stomatique » (Soltana *et al.*, 1999).

Il existe des sols non salés qui deviennent salins sous l'influence des eaux d'irrigation qui peuvent contenir jusqu'à 4 tonnes de sel en 1000 m³ d'eaux (Watad *et al.*, 1991). D'irrigation et leur effet sur les cultures (Navarro, 2002).

Le fumier frais lors de son application peut augmenter la salinité du sol en raison du chlore qu'il contient.

D'autre part, d'importantes doses de nitrate sont libérées lors de la décomposition du fumier et participent également à la salinisation du sol en même temps que les autres éléments tels que le phosphore, le Calcium et le Magnésium.

La désinfection à la vapeur accélère le processus de transformation de l'azote ammoniacale (NH₄) en nitrate (NO₂). D'autre part, l'échauffement du sol provoque une libération de l'ammoniac (NH₃) qui inhibe l'activité des nitrobacters responsables de la nitrification. Les deux phénomènes conjugués provoquent l'accumulation du NO₂ dans le milieu (Monneveux *et al.*, 2008).

III.1.4.3. Réponses des plantes aux stress salin

Quand les plantes sont exposées à la concentration élevée de sel, elles peuvent développer divers mécanismes pour leur survie.

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 (Mallek, 1998).

Selon Brun (1980), certaines espèces peuvent supporter jusqu'à 30g/l soit à peu près la concentration de l'eau de mer.

Les végétaux capables de prospérer en milieu salin se rencontrent essentiellement au contact de la mer.

D'autres espèces voient leur croissance inhibée dès la plus faible teneur en sel (Mosiniak et Roland, 1986).

- **Halophytes et Glycophytes**

La plupart des espèces d'intérêt agronomique sont rangées dans le groupe des glycophytes, plantes dites sensibles au sel parce que leur croissance est diminuée en présence de sel dans le sol.

A l'inverse, un certain nombre de plantes dites halophytes sont naturellement tolérantes au sel et poussent aussi bien, voire mieux, dans un environnement salin qu'en condition « normale ».

Il n'y a pas de distinction précise entre les concentrations de sel tolérées par les plantes de l'un ou l'autre groupe, bien qu'une frontière arbitraire de concentration externe en NaCl de l'ordre de 6 g/l soit souvent citée (Haouala *et al.*, 2007).

On s'est beaucoup penché sur la physiologie des halophytes afin de comprendre les caractères qui en font des plantes résistantes au sel, dans l'espoir de pouvoir introduire de tels caractères chez des espèces cultivées.

Malgré la multitude de travaux qui les concerne, il demeure toujours aussi difficile de définir les halophytes par un comportement physiologique précis, vraisemblablement parce qu'un tel comportement n'est ni simple ni unique (Levitt, 1980).

Flowers *et al.* (1983) ont défini les halophytes comme « des plantes d'environnement salin dont le rapport K/Na tend à être plus bas, et la concentration ionique globale plus élevée que chez les glycophytes, plantes d'environnement "doux" ou non salin, qui ont normalement un rapport K^+/Na^+ élevé dans leurs feuilles ».

III.1.4.4. Impact de la salinité sur le développement des plantes

La présence de quantités importantes de sels dans la solution du sol abaisse le potentiel hydrique et réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes.

On parle alors de milieu « physiologiquement sec », les plantes communes (glycophytes) ne peuvent s'y développer.

Seule une végétation halophile zonée (essentiellement en fonction de la salinité) peut se développer dans ces conditions (Tremblin et Coudret, 1986)

III.1.4.4.1. Germination

L'excès de sel affecte la germination, la croissance des plantules et leur vigueur, la phase végétative, floraison et la fructification à des degrés variables (Delbart, 1995). Conduisant à terme à des baisses des rendements et de qualité de production.

Ghoulam et Fares (2001), ont observé qu'une exposition prolongée aux solutions salines peut inhiber ou stimuler la germination chez certaines espèces et que le succès de la germination des graines et les réponses à ces besoins sont reliés à la durée et à l'intensité de l'exposition à la salinité dans leur milieu naturel.

Des concentrations exogènes élevées en sel affectent la germination des graines de *Phaseolus vulgaris* L. (Khan et Panda, 2008).

L'apport de NaCl a entraîné une baisse significative des teneurs en lipides et du taux de germination chez cinq légumineuses.

Cependant cet effet dépressif du sel a été plus marquée chez les deux glycophytes (*Phaseolus vulgaris*, Glycine max), tandis que chez *Mucuna pogeii* (halophyte facultative), *Phaseolus adenanthus* (halophyte) et *Vigna unguiculata* (glycophyte moyennement tolérante) il est moins marqué (Adams *et al.*, 1995).

Belkhouja et Bidai (2003) ont mis en évidence l'effet de la salinité sur la germination des graines de deux écotypes d'*Atriplex halimus*. A la salinité 20g/l proche de l'eau de mer, la germination ralentit et l'effectif des graines germées reste insuffisant alors qu'à la salinité équivalente à l'eau de mer (35 g/l de NaCl) la germination est inhibée.

III.1.4.4.2. Croissance et développement

La salinité est un des plus important des stress abiotiques, qui limite la croissance et la productivité des plantes (Khan et Panda, 2008). On peut observer les effets néfastes de la salinité élevée sur les plantes telle que la réduction significative de la croissance, de la diminution de la productivité et même la mort des plantes (Merah, 1999).

Dans une étude réalisée sur *Phaseolus vulgaris* L., il a été démontré que la variabilité de tolérance à la salinité au sein des espèces viendrait largement d'un rapport PR/PA biomasse racinaire / biomasse aérienne, élevé (Bayuelo *et al.*, 2002).

En effet, ces espèces maintiennent une croissance racinaire relativement importante sous forte salinité, l'augmentation du rapport qui s'ensuit semble être associée à une augmentation de leur tolérance au sel.

Par ailleurs, une étude a été faite sur trois cultivars de *Phaseolus vulgaris* L. pour évaluer les paramètres biométriques.

En effet, la salinité affecte la biomasse des feuilles des trois cultivars. Cette réduction de la biomasse des haricots en conditions saline limite la croissance (fig. 3).

La salinité a eu aussi des effets nuisibles sur les paramètres morphologiques tels que la taille et le nombre des feuilles ainsi que le rapport pousse/racine (Kaymakanova et Stoena, 2008).

La diversité des végétaux selon leur comportement vis-à-vis du sel est différente tant sur le plan physiologique (croissance) et écologique (survie) que sur le plan agronomique (rendement), sur le plan physiologique, trois grands groupes de végétaux se distinguent (Greenway, 1980).

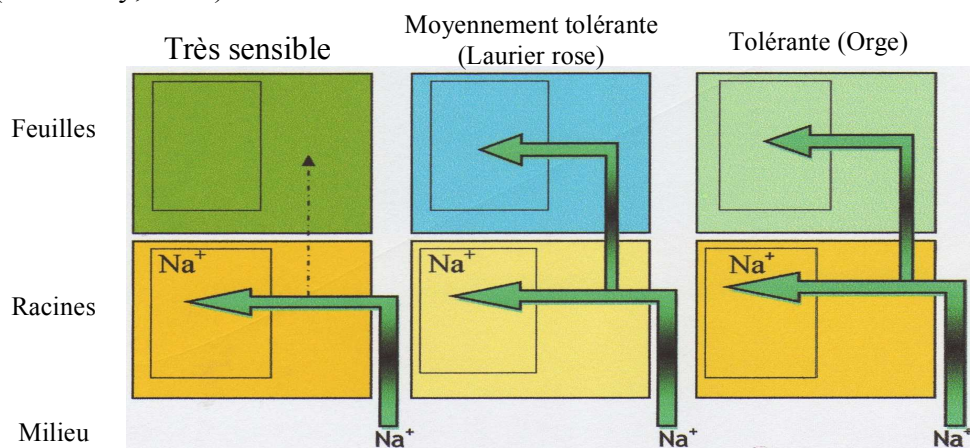


Figure 3. Transport et accumulation de Na^+ chez une plante sensibles (haricot), moyennement tolérante (laurier rose) et tolérante (orge) (Hajji *et al.*, 1999).

- ❖ Halophytes (croissance sur sel 200 à 500 mM NaCl).
- ❖ Halophytes Glycophytes tolérantes (croissance et ralentie au-delà de 100 mM NaCl).
- ❖ Gtycophytes (croissance retardée pour des concentrations proches à 50 mM NaCl).

La salinité peut intervenir de deux manières dans le retard de la croissance : Endommager l'intégrité des cellules de telle sorte qu'elles ne peuvent plus fonctionner normalement.

III.1.4.5. Effet de la salinité sur le comportement biochimique de la plante

Sous les conditions salines il y a un changement dans le modèle d'expression des gènes, et des changements qualitatifs et quantitatifs dans la synthèse des protéines (Reynolds *et al.*, 2001).

Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de la membrane cellulaire, affectant ainsi sa stabilité (Alem *et Amri*, 2005). La présence du sel en forte concentration inhibe principalement le métabolisme cellulaire et la photosynthèse (Tremblin et Coudret, 1986) par l'imposition d'un stress osmotique (Hayashi et Murata, 1998) sur la cellule et par la toxicité du sodium (Niu *et al.*, 1995) et du chlorure dans le cytoplasme.

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

III.1.4.5.1. Effet de la salinité sur les processus physiologiques de la plante

Un excès de sel dans le protoplasme conduit à des modifications dans la balance ionique, des perturbations des enzymes, membranes et autres macro-molécules. Ces perturbations entraînent une faible production d'énergie par la phosphorylation et la photorespiration, une assimilation de l'azote est perturbée, et un dérèglement de nombreuses voies métaboliques (Greenway et Munns, 1980).

Si la concentration en sel excède le niveau de tolérance de la plante des perturbations fonctionnelles apparaissent au niveau de la photosynthèse, par effet du sel dans le stroma des chloroplastes qui perturbe le transport des électrons (Paridas et Das, 2005).

L'acquisition de nutriments minéraux, comme le potassium, les nitrates ou le calcium est également réduite. La plante montre alors des signes de stress par la production d'anthocyanes ou la destruction de la chlorophylle. Si chez certaines halophytes, la croissance est stimulée par un apport modéré de sel, ce phénomène reste limité par un niveau de tolérance. Des stress extrêmes conduisent au nanisme et à l'inhibition de la croissance. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir fini leur croissance, et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite. Mécanismes de résistance à la salinité (Zid, 1982).

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et à produire dans des conditions de stress salin. Les plantes développent plusieurs stratégies pour limiter le stress salin (figure 12), qui diffèrent selon la catégorie de la plante (Berthomieu *et al.*, 2003).

Chez les plantes sensibles au NaCl, le Na⁺ s'accumule dans les racines, puis est exclu des feuilles, ces plantes sont dites « excluser ». A l'inverse, les plantes tolérantes le NaCl, sont dites « incluser » car elles ont en général des feuilles plus chargées en Na⁺ que les racines lorsqu'elles sont cultivées en présence de sel (Haouala *et al.*, 2007)

III.1.4.5.1.1. Exclusion

La plante empêche le sel de remonter dans la sève jusqu'aux feuilles. La présence de l'endoderme dans les racines ainsi que le transport sélectif, leur permet d'absorber les ions nutritifs utiles et de réexcréter les ions Na^+ . Quelques halophytes peuvent empêcher l'absorption excessive de sel par exclusion du sel au niveau des racines et de la partie inférieure de la tige. Dans ce cadre, la sortie de Na^+ des vaisseaux du xylème en échange d'une entrée de K^+ venant des cellules parenchymateuses du xylème et du parenchyme avoisinant, joue un rôle important dans la tige et les racines (Luttge *et al.*, 1998).

III.1.4.5.1.2. Inclusion

La plante retient le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompes moléculaires. Les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (Berthomieu *et al.*, 2003), ou excrété par des glandes vers l'extérieur (Alem et Amri, 2005). L'excrétion dans les glandes à sel est très spécifique ; d'abord Na^+ , Cl^- et HCO_3^- sont excrétés contre le gradient de concentration, alors que des ions comme Ca^{++} , NO_3^- , SO_4^{--} et H_2PO_4^- sont maintenus contre leur gradient (Hopkins, 2003).

III.1.4.5.1.3. Réexcrétion

La plante a la capacité de réexpédier aussitôt l'excès de sel parvenu jusqu'aux feuilles vers ses racines (fig. 4), par l'intermédiaire de sa sève descendante par le phloème. Les racines peuvent ensuite réexcréter le sel à l'extérieur et l'éliminer vers le sol (Berthomieu *et al.*, 2003).

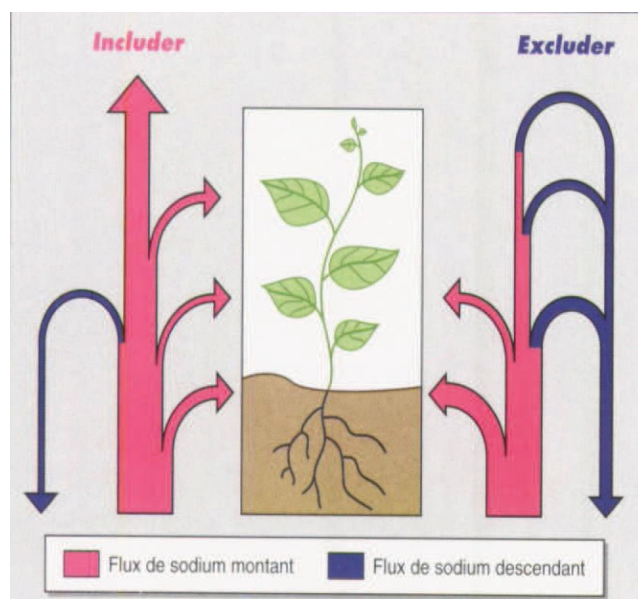


Figure 4. Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes includer ou excluser (Levigneron *et al.*, 1995).

III.1.4.6. Les mécanismes de la tolérance à la salinité chez les végétaux

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

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

La tolérance de la salinité est l'habilité des plantes à croître et compléter leur cycle de vie sur un substrat contenant une forte concentration en sels solubles. Les plantes qui peuvent survivre en milieux concentrés en sels dans la rhizosphère et croître normalement sont appelées halophytes. Dépendant de leur forte capacité à tolérer les sels, les halophytes sont caractérisées par une faible diversité morphologique et taxonomique avec une vitesse de croissance relative qui augmente même en conditions d'irrigation avec une eau de mer diluée

à 50%. Certaines espèces halophytes se trouvent dans des habitats de salinité moindre tout au long des frontières entre les montagnes salines et non salines et sont caractérisées par une plus grande diversité physiologique qui leur permet de faire face à des conditions plus ou moins salines (Hayashi et Murata, 1998).

Les plantes Glycophytes développent un nombre important de mécanismes biochimiques et cellulaires pour faire face au stress salin. Les stratégies biochimiques comprennent : l'accumulation sélective ou l'exclusion des ions, le contrôle de l'absorption racinaire des ions et leurs transports dans les feuilles, la compartimentation des ions au niveau cellulaire et au niveau de toute la plante, la synthèse de solutés compatibles, le changement dans le chemin de la photosynthèse, l'altération de la structure membranaire, l'induction des enzymes anti oxydatives et l'induction des hormones végétales (Tremblin et Coudret, 1986).

III.1.4.6.1. 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. (Cheesman, 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^+/W (Apse *et al.*, 1999 in Parida et Das, 2005).

III.1.4.6.2. Biosynthèse de solutés compatibles

Pour adapter l'équilibre ionique dans la vacuole, le cytoplasme accumule des composés de petite masse moléculaire nommés solutés compatibles parce qu'ils n'interfèrent pas avec les réactions normales biochimiques (Zhifang et Loescher, 2003 in Parida et Das, 2005), en revanche il remplace l'eau dans les réactions chimiques. Ces solutés compatibles comprennent principalement la proline (Singh *et al.*, 2000 in Parida et Das, 2005), la glycine bêtaïne (Wang et Nil, 2000 in Panda et Das, 2005), les sucres et les polyols (Bohnert *et al.*, 1995 in Parida et Das, 2005). Les polyols sont classifiés comme acycliques (mannitol) et cycliques (pinitol). Le

mannitol, un sucre qui sert comme soluté soluble pour faire face au stress salin, est synthétisé via l'action de la mannose-6-phosphate réductase (M6PR) chez le céleri (Zhifang et Loescher, 2003 in Parida et Das, 2005). Les polyols agissent par deux manières qui sont difficiles à séparer : ce sont l'ajustement osmotique ou osmoprotection. Dans l'ajustement osmotique, les polyols agissent comme des osmolytes pour faciliter la rétention de l'eau dans le cytoplasme et permettent la séquestration du NaCl à la vacuole ou l'apoplaste.

III.1.4.6.3. Synthèse et accumulation de la proline

La proline désignée généralement sous le nom de soluté compatible chez les eubactéries, les algues, et les plantes supérieures. L'accumulation de la proline est due principalement à la synthèse de novo, et deuxièmement à un taux réduit du catabolisme, et finalement aux systèmes de transport spécifiques qui diffusent la proline aux endroits d besoin. Deux voies possibles de la synthèse de proline ont été démontrées chez les plantes. La première utilisant le glutamate et la deuxième emploie l'ornithine comme précurseur. La dégradation de proline chez les plantes a lieu dans des mitochondries et est catalysée par la proline déshydrogénase (ProDH), également appelée proline oxydase. On a démontré que la dégradation de la proline est inhibée sous le stress hydrique et salin. Une diminution dans le niveau de ProDH ARN m et de l'activité de ProDH a pour conséquence l'accumulation de la proline (Messedi *et al.*, 2006).

III.1.4.6.4. Induction des hormones végétales

La concentration élevée du sel déclenche une augmentation dans les taux des hormones végétales, comme l'ABA et les cytokinines, l'acide abscissique est responsable de l'altération des gènes induits par le stress salin. Les gènes inductibles de l'ABA sont prévus de jouer un rôle important dans le mécanisme de la tolérance au sel chez le riz (Meloni *et al.*, 2004).

Pendant le stress salin il y a une augmentation au niveau de la production de l'ABA et l'éthylène chez *Citrus sinensis*, Il s'est avéré que l'ABA vient alléger l'effet inhibiteur du NaCl sur la photosynthèse, la croissance et la translocation des assimilats (Meloni *et al.*, 2001).

L'ABA favorise le passage de la forme C3 à la forme CAM chez *M. crystallinum* pendant le stress salin. L'ABA favorise la fermeture des stomates en changeant le flux des ions dans les cellules de gardes sous les conditions de stress salin. On a montré que l'augmentation de l'absorption de Ca⁺⁺ ... est liée à l'augmentation de l'ABA dans le cas du stress salin et donc contribue au maintien de l'intégrité membranaire, ce qui permet aux plantes de

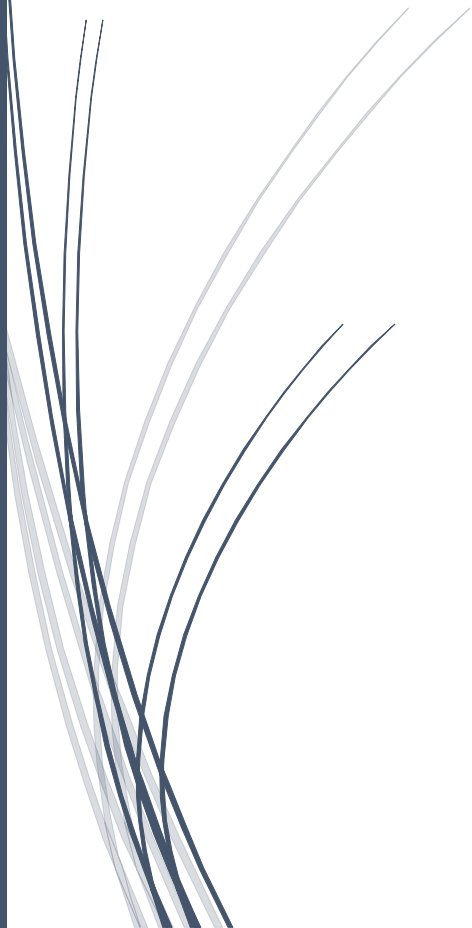
réguler l'absorption et le transport dans le cas d'excès de la salinité à long terme. Il a été rapporté que l'ABA réduit la libération de l'éthylène et l'abscission foliaire en condition de stress chez le *Citrus* probablement en diminuant l'accumulation de l'ion toxique dans les feuilles (Ashraf et Foolad, 2007).

III.1.4.6.5. Changement de la voie photosynthétique

Le stress salin inhibe la photosynthèse par la réduction du potentiel hydrique. Dans ce cas, le principal but de la tolérance à la salinité est d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau en conditions salines. Par ce biais, les halophytes facultatives comme *M. crystallinum* changent leur mode de photosynthèse de C3 en CAM, Ce changement permet aux plantes de réduire la perte de l'eau par l'ouverture des stomates la nuit, donc réduire la perte de l'eau par la transpiration sous des conditions de salinité prolongée. Il y a aussi changement du mode C3 au mode C4 en réponse à la salinité chez les espèces tolérantes à la salinité comme *Atriplex lentiformis* (Khan et Panda, 2008).

Chapitre IV

Systeme de culture hydroponique et *Phaseolus vulgaris* L.



Chapitre IV : Système de culture hydroponique et *Phaseolus vulgaris* L.

IV.1. Intérêts et utilisations des cultures hors sol

Le terme hydroponique, ou hydroponie, a été développé aux États-Unis au début des années 1930 afin de décrire la technique de culture des plantes dont les racines sont suspendues dans l'eau contenant des sels minéraux (fig. 5).

L'hydroponique est un dérivé des mots grecque pour "eau" (hydro) et "travailler" (ponos), cela signifie littéralement "travailler avec l'eau". La définition a été graduellement élargie pour inclure toutes formes de jardinage sans sol (Righi, 2006).

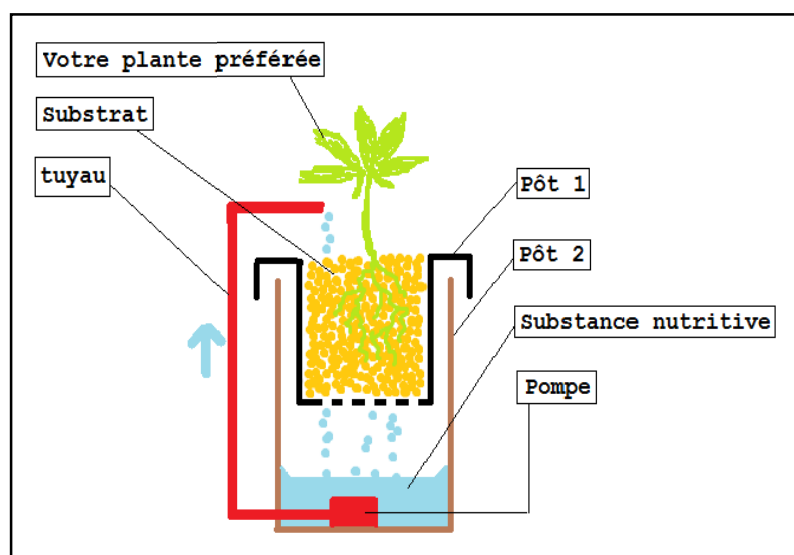


Figure 5. Schéma de système Hydroponique

Le développement de cette technologie s'est principalement réalisé en Europe qui concentre depuis 1982 environ 80% des surfaces cultivées en hors sol. En 2002, l'Union européenne (C.E) compte environ 8 000 ha, dont 1600 ha en France destiné à la culture légumière hors sol (Jeannequin *et al.*, 2005), essentiellement des tomates, concombres, poivrons et fraises.

La principale raison du développement de la technique citée au-dessus est la possibilité d'éviter certains problèmes liés au sol (des agents pathogènes) et des sols non arables (déserts sableux, sols argileux, sols salés...).

En outre, cette culture engendre une économie d'eau considérable et d'engrais minéraux (grâce au système de recyclage), ainsi la simplification de techniques culturales (pas de

désherbage, préparation de la terre...), et aboutis à une obtention de produits de meilleure qualité (produits plus "propres" car jamais souillés de terre et moins de résidus de pesticides (Morard, 1995).

Le dispositif de culture réalisé pour les expériences hydroponiques (fig. 6), est adapté par Camefort (1979) et Taiz et Zeiger (2010). Pour intérêt : accueillir la solution nutritive et les plantes cultivées. ; Considérablement le nombre de bacs utilisés varie selon l'expérimentation, plus précisément selon le nombre de conditions expérimentales réalisées par expérience.

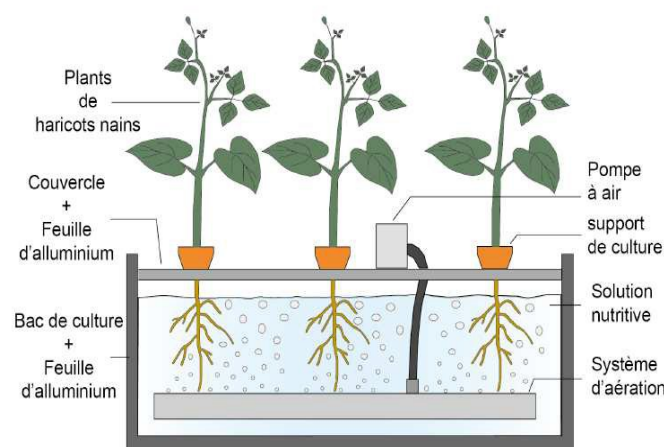


Figure 6. Dispositif de culture hydroponique de haricots nain.

La culture hydroponique permet aussi une automatisation de la culture : température, éclairage, contrôle du pH et de la concentration en éléments nutritifs du liquide, ventilation.

En dehors de l'application à l'horticulture, les cultures hors sol ont été utilisées en vue d'objectifs de recherche afin d'avoir un bon rendement de culture. Ainsi les études sur les systèmes racinaires étant parfois difficiles à réaliser en sol, la culture hydroponique peut permettre de résoudre ce problème, au moins une partie.

De tels types d'études ont été conduits par des chercheurs ayant pour objectif le contrôle des paramètres nutritionnels et environnement du système racinaire (Kratsch *et al.*, 2006 ; Morard, 1995 ; Markhart, 1985 ; Guckert *et al.*, 1987).

Le système de culture hydroponique permet de s'affranchir de la variation des conditions du milieu (Robinson *et al.*, 2006 ; Tocquin *et al.*, 2003), tels que les apports atmosphériques et les interférences inhérentes au développement des plantes à partir d'un sol.

Cette approche a été retenue afin d'étudier l'accumulation des métaux dans les plantes,

via le fractionnement des terres rares (Ding *et al.*, 2005), ainsi que le fractionnement isotopique du Si, Mg et du Zn dans les plantes (Weiss *et al.*, 2005 ; Opfergelt *et al.*, 2006 ; Black *et al.*, 2008 ; Bolou-Bi *et al.*, 2010).

IV.2. Description de l'espèce "*Phaseolus vulgaris* L."

Le genre *Phaseolus* appartient à la tribu des Phaseolées et à la famille des Fabacées ou Papilionacées qui fait partie de la "grande famille" des Legumineuses. Le genre *Phaseolus* renferme environ 55 espèces même si la distinction n'est pas toujours facile car il est probable que certaines ne soient pas des espèces à part entière (Debouck, 1999). Cinq d'entre elles ont été domestiquées, et sont les plus importantes, à savoir, *P. acutifolius*, *P. coccineus*, *P. lunatus*, *P. polyanthus* et *P. vulgaris* L. (fig. 7).



Figure 7. Graines de *Phaseolus vulgaris* L. (haricot).

Cette dernière, communément nommée haricot commun, fait partie de la chaîne trophique humaine, surtout en Amérique latine et en Afrique (Singh, 1999). Le haricot (fig. 8) représente une composante principale dans certains systèmes agraires et sa culture se répand dans le monde entier. Sa systématique est comme suit :

- Règne : Végétal
- Embranchement : Spermaphytes
- Sous Embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotyledones
- Ordre : Fabales
- Famille : Fabacées
- Sous Famille : Papilionacées
- Genre : *Phaseolus*
- Espèce : *vulgaris* L.



Figure 8. *Phaseolus vulgaris* L. (haricot).

Le haricot constitue la base de la ration quotidienne de près d'un demi-milliard d'êtres humains en raison de sa forte teneur en protéines (environ 25%) et en fer. Il est aussi une source

précieuse de fibres diététiques et de carbohydrates complexes. Sa contribution à une nutrition humaine équilibrée est particulièrement importante dans les pays pauvres. C'est une légumineuse largement cultivée et consommée dans le monde entier spécialement en Amérique Latine et Centrale, lieu d'origine du haricot où il a été domestiqué depuis plus de 8000 ans (Gepts et Debouck, 1991). Ainsi, 50% de la culture de haricot est située en Amérique centrale et méridionale, mais les principaux producteurs étant le Mexique et le Brésil. L'autre moitié se répartit entre l'Europe et le sud-est asiatique et l'Afrique (tableau 4). La production est moindre en Afrique, cependant, elle y prend une part importante dans la diète de certains pays d'Afrique de l'est (l'Ouganda, le Kenya, le Rwanda, le Burundi et la Tanzanie) en comparaison aux pays d'Amérique du sud (Wortmann *et al.*, 1998).

Tableau 4. Estimation de la production et la surface cultivée de haricot en Afrique (Wortmann *et al.*, 1998).

Régions ou pays	Surface %	Surface Ha.10 ³
Est d'Afrique- pays montagneux et mi-altitude (Congo, Kenya, Rwanda, Tanzanie, Uganda)	62	2490
Sud d'Afrique (Madagascar, Malawi, Mozambique, Afrique sud Swaziland, Zambie, Zimbabwe)	31	1290
Ouest d'Afrique (Angola, Cameroun, Togo) Plaines et saison hivernale	3	135
(Algérie, Egypte, Mali, Malawi, Mauritanie, Maroc, Nigeria, Soudan, Tunisie)	4	200

Son adaptabilité liée à la diversité des sites de son acclimatation (Gepts *et al.*, 1986) permet sa culture dans de nombreuses conditions pédoclimatiques et dans des agrosystèmes variés. C'est une plante propre aux climats chauds (tropicaux tempérés), des régimes d'humidité relativement bas mais qui supportent mal les températures excessives. Le pH du sol optimal pour la croissance de cette espèce est compris entre 5,5 et 7. Cette espèce présente l'avantage d'avoir un cycle de développement (fig. 9) relativement court (3 mois), son appareil végétatif comprend une tige angulaire et rameuse, des feuilles en trois folioles ovales, acuminées aigues. Les fleurs de deux centimètres de longueur, blanchâtres, jaunâtre ou lilas. Les fruits sont des gousses allongées contenant des graines diversement colorées en forme de rein.



Figure 9. Les différents stades de germination (UNESCO, 1973).

IV.2.1. Caractères morphologiques

IV.2.1.1. Racines

Système racinaire pivotant et profond qui peut descendre jusqu'à 1,20m. On trouve le plus grand nombre de racines entre 0,20m et 0,25m de profondeur, sur un diamètre de 0,50m autour de la tige.

Des nodosités peuvent se former sur les radicelles, mais on ne peut pas considérer le haricot comme une plante enrichissant le sol en azote car il demeure trop peu de temps en terre (Barreto, 1983).

IV.2.1.2. Tiges

Elles sont plus ou moins longues suivant les variétés. Les grandes tiges peuvent atteindre 2 à 3 m de long = c'est le " haricot à rames ". Les tiges courtes ne dépassent guère 30 à 40 cm de longueur et le haricot ayant de telles tiges est appelé " haricot nain ". Toutes ces tiges sont plus ou moins couvertes de poils, sont cannelées et rugueuses (Dupont et Guignard, 1989).

IV.2.1.3. Feuilles

Les premières feuilles, au nombre de deux simple Les suivantes sont formées de trois folioles ovales, vertes, de 10 à 12 cm de long environ, terminées chacune par une pointe (Bell, 1994). Elles possèdent des nervures bien visibles. Ces folioles s'insèrent sur un pétiole commun de 12 cm de long environ, par l'intermédiaire de pétiolules de 3 à 4 mm de long. A la base de ces pétiolules, on trouve deux stipelles très courtes. A la base du pétiole, on distingue une petite gaine et deux stipules de forme ovale ayant 4mm de long environ (Goust et Seignobos, 1998).

IV.2.1.4. Inflorescences.

Ce sont des grappes de 5 à 15 fleurs portées par un pédoncule de 5 à 8 cm de long qui prend naissance à l'aisselle des feuilles.

Ces fleurs s'insèrent par 1,2 ou 3 à la fois, par l'intermédiaire de pédicelles de 10 à 15 mm de long, sur le pédoncule floral. On trouve une moyenne de 10 à 15 grappes de fleurs par pied (Phillips *et al.*, 1994).

IV.2.1.5. Fleurs

Elles sont du type papilionacé, et comprennent : 5 sépales, 2 pétales, 9 étamines soudées par leur base et une étamine libre, un ovaire, une loge renfermant 4 à 8 ovules, surmonté par un style portant un stigmate (Prevost, 1999). Mais chez le haricot, il y a quelques particularités :

- Le calice a sur la lèvre supérieure 2 dents courtes très rapprochées ; l'étendard a environ 2 fois la longueur des ailes,
- La carène est tordue,
- Les deux pétales forment la carène et entourant les étamines et le pistil facilitent la fécondation croisée. Le taux de fécondation croisée varie avec l'importance de l'activité des insectes = compris entre 2 et 80%. La fécondation s'effectue surtout la nuit,
- Chaque fleur a 2 cm de long environ et de couleur très variée = blanche, rose, rouge, violette, jaunâtre ou même bicolore (Bell, 1994).

IV.2.1.6. Fruits

Ce sont des gousses allongées, généralement droites, plus ou moins longues et terminées par une pointe. Leur largeur varie de 8 à 25 mm.

Elles renferment en moyenne 4 à 8 graines (Tirilly et Bourgeois, 1999). Dans les parois de la gousse, appelée " cosse ", les faisceaux libéro-ligneux sont plus ou moins développés. S'ils sont très développés, on les appelle les "fils", et les gousses sont alors impropres à la consommation en vert. On dit que les gousses sont "parcheminées " lorsqu'elles possèdent 3 à 4 couches de fibres obliques, par rapport à la nervure dorsale, dans leur paroi. Les cosses représentent 40 à 45% du poids des gousses. Les jeunes gousses sont vertes mais leur couleur va se modifier au cours de la maturation (Goust et Seignobos, 1998).

IV.2.1.7. Graines

Elles sont soit sphériques, soit cylindriques selon les variétés, et sont très diversement colorées : en blanc, vert, rouge, violet, noir, brun ... ou même bicolorées ou tachetées.

Chaque graine possède un hile elliptique, petit, surmonté par le micropyle.

Elles sont plus ou moins grosses selon les variétés = 1400 graines pour 1Kg de " lingot ".

La validité de la germination dure de 3 à 5ans (Monnet *et al.*, 1999).

IV.2.2. Phases végétatives

IV.2.2.1. Phase de germination

Les graines lèvent en 4 à 8 jours suivant la température. Elles doivent toutes être sorties de terre au bout de 8 jours. Un à deux jours après l'apparition des crosses, les cotylédons sortis du sol, se sont ouverts et la première paire de feuilles apparaît (Hubert, 1978).

IV.2.2.2. Phase de croissance

Trois à quatre jours après la levée, les cotylédons commencent à se faner. 5 à 6 jours après la levée apparaît la première feuille trifoliolée et de 5 à 6 jours après l'apparition de la première feuille trifoliolée apparaît la deuxième.

Au bout d'un mois, le pied de haricot possède une dizaine de feuilles trifoliolées et il a atteint sa hauteur définitive de 30 à 40 cm pour les variétés naines (Dupont et Guignard, 1989).

IV.2.2.3. Phase de floraison

Elle débute 3 semaines à 1 mois environ après le semis. Elle dure 1mois à 1 mois et demi suivant les conditions climatiques.

La jeune gousse met une douzaine de jours environ pour atteindre sa taille définitive (Lecomte, 1997).

IV.2.2.4. Phase de maturation

Une fois la taille définitive atteinte, les graines se forment en 15 -20 jours. Il faut attendre encore 20 à 30 jours pour que les gousses s'ouvrent d'elles-mêmes, les graines étant mûres. Le cycle végétatif complet du haricot est en moyenne de ; " 75 à 80 jours pour le haricot vert 90 à 100 jours pour le haricot demi-sec " 120 à130 jours pour le haricot sec (Lecomte, 1997).

IV.2.3. Exigences du haricot

IV.2.3.1. Exigences climatiques

IV.2.3.1.1. Besoins en chaleur

La germination entre 10 et 40°C, mais optimum entre 15 et 30°C. Cette plante est sensible au froid, gèlent à 0°C et la croissance s'arrête vers 5°C. Ce sont des plantes tolérantes en ce qui concerne les températures et peuvent être cultivées en saison chaude ou saison froide à condition d'avoir suffisamment d'eau dans le sol (Goust et Seignobos, 1998).

IV.2.3.1.2. Besoins en eau

Le haricot demande 300 à 400 mm d'eau pendant la durée de sa végétation. Ces pluies doivent être régulières, non violentes et bien réparties. L'excès d'humidité nuit à la plante ; chloroses généralisées, apparition de maladies cryptogamiques ou coulure des fleurs. Un manque d'eau accompagné d'un excès de chaleur provoque le flétrissement des fleurs et leur couleur.

IV.2.3.1.3. Besoins en lumière

Le haricot est une plante de lumière. Cultivé à l'ombre, il s'allonge beaucoup et ne donne pratiquement aucune récolte (Tirilly et Bourgeois, 1999).

IV.2.3.1.4. Besoins en altitude :

Le haricot est indifférent à l'altitude : pousse aussi bien sur les Hauts-Plateaux qu'au niveau de la mer. A Madagascar, on trouve le haricot surtout sur les hauts-plateaux et sur la côte sud-ouest.

D'après (Guillaume, 2004), le haricot supporte très mal les pluies en tours de végétation. Son cycle court et sa relative tolérance aux déficits hydriques permettent d'envisager sa culture en premières pluies (Avril) et récolter en (Juillet).

Dans les zones tropicales de basses altitudes, le haricot commun se développe une température comprise entre 18°C et 20°C. La température du sol pour la germination doit être supérieure à 15°C.

La plante est sensible à des températures supérieures à 30°C surtout pendant la floraison mais aussi au froid ; les fleurs sont affectées à 5°C.

Les précipitations totales doivent être comprises entre 400-500 mm pendant le cycle de croissance.

Les cultivars insensibles à la photopériode sont celles originaire des latitudes extrêmes et d'habitus de croissance du type I et II cependant, il existe des cultivars spécifiquement adaptés aux températures aussi basses que 13°C mais ils sont tous sensibles à la photopériode et beaucoup d'entre-deux sont des variétés grimpantes.

D'autres sont spécifiques aux régions chaudes (Adams *et al.*, 1985) et les cultivars habitus de croissance de type IV sont moires tolérants que les autres.

IV.2.3.2. Exigences édaphiques

IV.2.3.2.1. Besoins en sols

Le haricot préfère les terres légères et saines. Dans les terres compactes, la levée est difficile tandis que dans les terres battantes, les graines pourrissent dans le sol. Choisir de préférence des limons ou des sols silico-argileux. Dans les sols calcaires, on obtient des graines de haricot qui cuisent mal. Dans les terres riches en argile, on conseille de semer le haricot sur des billons pour améliorer le drainage du sol. Le haricot est très tolérant en ce qui concerne le pH (6 à 7,5) mais préfère les sols légèrement acides (6,5) (Howeler, 1980).

Mas (1983) suggère que la culture peut se développer sur plusieurs types de sol ; un sol aère avec un bon drainage est mieux pour une fixation optimale d'azote par les nodules des racines.

IV.2.4. La culture du haricot

La culture du haricot pose moins de problèmes liés aux restrictions environnementales que &en pose la culture du riz dont l'essentiel du système de culture repose sur la défriche brûlis, sur des parcelles étendues et au sol fertile.

La production du haricot demande tout d'abord moins d'espace car elle contribue dans une moindre mesure à la satisfaction des besoins alimentaires des familles. De plus, les critères de choix de la parcelle sont moins stricts en ce qui concerne la qualité du sol et l'humidité.

Aussi, il est plus commun de trouver des champs de haricot en plaine, même si la population préfère trouver des parcelles bénéficiant de friches pins longues, situées sur des versants peu élevés (Peron, 2006).

Le cycle du haricot est de 90 à 100 jours. La culture peut être bisannuelle, avec des semis en mars et en août et des récoltes en juin et en novembre. Cependant, plus de la moitié des agriculteurs réalise une seule culture par an et privilégie celle qui va d'août à novembre car elle est plus productive (Monnet *et al.*, 1999).

Et, même les familles qui réalisent deux cultures de haricot par an considèrent que celle qui va de mars à juin est une petite plantation et que la plantation principale est la seconde.

La première période est en effet plus sujette aux gelées hivernales et aux basses températures qui réduisent considérablement la production.

La seconde période est de ce fait plus favorable à la plantation de l'haricot car s'initie le redoux et le début de l'époque pluvieuse propice au développement des plantes (Dussert *et al.*, 2002).

IV.2.5. Importance des légumineuses cultivées

Les légumineuses (Fabaceae) sont définies par leur structure florale spécifique, la cosse de leur fruit et surtout par l'aptitude (88% des espèces examinées) à former des symbioses fixatrices d'azote avec les bactéries de la famille des Rhizobiaceae (Faria *et al.*, 1989).

Ces plantes viennent en deuxième rang après les graminées pour la satisfaction des besoins alimentaires de l'homme.

Les légumineuses à graines couvrent 33% des besoins humains en protéines alimentaires. Cette part est fournie, essentiellement, par les cultures du haricot, petit pois, pois chiche et fève (Graham et Vance, 2003).

Les graines des légumineuses contiennent généralement 20 à 30% de protéines et sont particulièrement riches en Lysine (acide aminé essentiel pour la croissance). Elles sont, de ce fait, complémentaires des profils nutritionnels des céréales (Duranti et Gius, 1997), et représentent les principales sources de protéines dans les pays en voie de développement et dans les régions subtropicales.

Parmi les légumineuses, le soja (*Glycine max*) et l'arachide (*Arachis hypogea*) fournissent plus de 35% des besoins mondiaux en huiles végétales (F.A.O, 2007).

Les légumineuses fourragères, telles que la luzerne (*Medicago sativa*) et le trèfle (*Trifolium spp.*) constituent une base importante de l'alimentation des productions animales laitières et à viande en raison de leur faible coût, et de leurs qualités nutritives (richesse en azote, énergie et fibre) de la production de viande et de lait dans le monde (Gama, 2007), vu leurs richesses en protéines, fibres et énergie.

En plus de ces qualités alimentaires, les légumineuses jouent un rôle capital dans la préservation de l'environnement. L'azote est en effet l'élément nutritif le plus limitant de la production des plantes dans la plupart des écosystèmes naturels.

Les légumineuses, via leurs capacités symbiotiques, peuvent contribuer à la colonisation des écosystèmes peu fertiles (Dupont et Guignard, 1989).

De nombreux genres d'arbres forestiers tels que *Acacia*, *Anadenathera*, *Calliandra*, *Dalbergia*, *Erythrina*, *Gliricidia*, *Melanoxylon*, *Parkea*, *Prosopis*, *Petrocarpus* et *Samanea...* (Skiredj, 1991) font également partie de cette famille et sont importants pour l'enrichissement des sols en azote et la réimplantation des zones endommagées par les mines et les carrières.

Enfin, ces espèces ligneuses ont également montré une aptitude à séquestrer le carbone, ce qui suggère aussi la possibilité de les utiliser pour s'opposer à l'augmentation du taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (Reddy *et al.*, 1994).

Enfin outre ces bénéfiques qu'elles entraînent pour l'alimentation et l'environnement, les légumineuses peuvent être utiles dans diverses industries alimentaires (lait et dérivés, pain, tourteau) et chimiques (plastique biodégradable, huile, bio-diésel, colorants, gomme, textile, papier...) (Graham et Vance, 2003). Plusieurs légumineuses ont été utilisées dans l'industrie pharmaceutique (Dussert *et al.*, 2002).

Les isoflavones du soja et d'autres légumineuses ont été pressenties pour diminuer les risques de cancer et les effets du cholestérol (Kennedy, 1995).

Bien qu'importantes sur les plans économique, écologique et industriel, les légumineuses cultivées présentent des caractéristiques biologiques qui retardent leur amélioration génétique.

IV.2.5.1. Importance économique

A l'échelle mondiale, le terme haricot sec désigne plusieurs catégories de haricots. Les haricots secs cultivés en Amérique du nord, en Amérique du sud, en Europe et en Afrique appartiennent surtout à l'espèce *Phaseolus vulgaris* L., généralement appelée haricot commun.

Au cours des dix dernières années, la production mondiale de haricots secs a fluctué, mais la tendance est légèrement à la hausse.

Pendant cette période, la production a varié d'un plancher de 15,7 millions de tonnes en 1994-1995 à un sommet de 18,9 MT en 2002 –2003 (source F.A.O, 2004)

L'Algérie est considérée comme grand consommateur de légumes secs (tableau 5).

Tableau 5. Superficies et productions du haricot blanc en Algérie (DSA).

Année	1998	1999	2000	2001	2002
Superficies (hectares)	1400	1850	1280	1180	1190
Production (quintaux)	6460	10790	4190	7340	8640

IV.2.5.2. Valeur alimentaire

La culture des légumineuses vivrières, source de protéines végétales, a été reconnue comme étant l'une des meilleures et des moins coûteuses des solutions pour l'alimentation des populations des pays en voie de développement.

En effet, les protéines végétales coûtent deux fois moins chères que les protéines animales.

Les haricots secs ont une teneur en protéine élevée et sont une excellente source de fibres solubles et insolubles, de glucides complexes, de vitamines (B9) et de minéraux en particulier le potassium, le phosphore, le calcium, le magnésium, le cuivre, le fer et le zinc (tableau 6) (Gordon *et al.*, 2004).

Les graines de légumineuses contiennent deux à trois fois plus de protéines que les céréales.

Tableau 6. Composition (g/100g de graines) et valeur énergétique (calorie/100g) des graines de *Vigna unguiculata*, de *Cicer arietinum* et de *Phaseolus vulgaris* L. (Adams *et al.*, 1985).

Légumineuses	Protéines	Lipides	Glucides	Fibres	Matières minérales	Eau	Calories
<i>P. vulgaris</i>	20-27	1-2	60-65	4-5	4-5	11	341
<i>C. arietinum</i>	20	01	62	03	2-4	12	362
<i>V. unguiculata</i>	22-26	1-2	60-65	4-5	3-4	11	342

IV.2.6. Contraintes liées à la culture et à la productivité du haricot commun

Le haricot commun cultivé est extrêmement sensible aux maladies et aux ravageurs, ainsi qu'aux contraintes édaphiques particulièrement dans les régions tropicales (sols pauvres, températures et humidités relatives trop élevées, favorisant le développement des agents pathogènes) et on estime que plus de 50% de la production est perdue chaque année en Afrique tropicale. Ces maladies et ravageurs sont extrêmement variés. Des sources de résistances ont été identifiées aussi bien dans le pool génique primaire du haricot commun que dans les pools secondaires et tertiaires (Cabuslay *et al.*, 2002).

Face à toutes ces contraintes biotiques et abiotiques de production du haricot commun cultivé, les chercheurs tentent depuis longtemps d'améliorer cette culture par l'introduction de gènes contrôlant la résistance et la tolérance.

Ces sources de résistance et de tolérance sont recherchées aussi bien dans le pool génique primaire de *Phaseolus vulgaris* L. en utilisant les variétés sauvages, que dans les pools géniques secondaires et tertiaires (Heller *et al.*, 2004).

IV.2.6.1. Maladies et enemies

IV.2.6.1.1. Maladies

Fonte de semis : due à des champignons microscopiques (Botrytis, Pythium, Fusarium).

Traitement : Cuprosan 30g/10 L d'eau.

Flétrissement bactérien : dû à des bactéries qui provoquent le flétrissement soudain de toute la plante anthracnose, due à un champignon qui cause sur les feuilles et surtout sur les gousses des taches grisâtres à contours rougeâtres alternariose, qui due à un champignon qui provoque des taches brunes sur les feuilles et les gousses pourriture molle des tiges : due à un champignon qui fait pourrir les tiges.

Rouille : due à un champignon qui provoque des taches pulvérulentes brunes sur les feuilles et même les gousses. Traitement : Mancozèbe 20 à 25g/10 L d'eau ou Benlate.

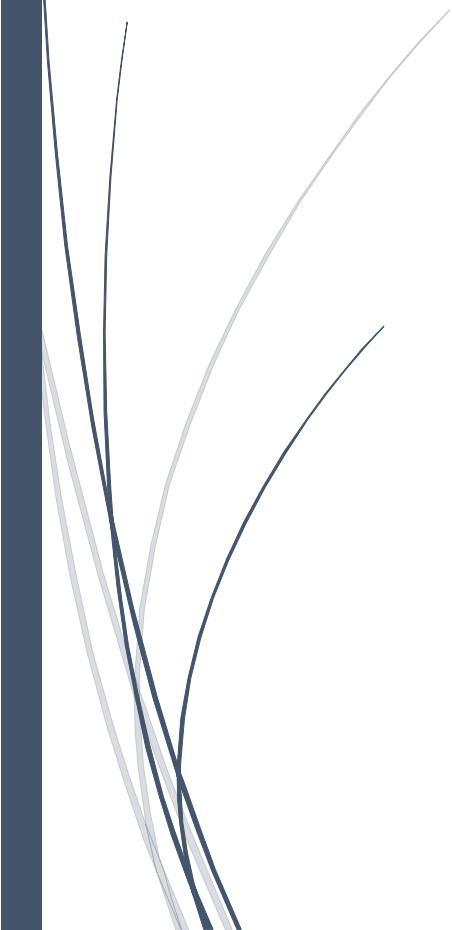
Maladies à selérose : dues à un champignon qui provoque l'apparition de protubérances sur le système racinaire puis la pourriture de ce dernier.

Maladies mineures : cercosporiose, graisse des gousses, ... (Santalla *et al.*, 1998).

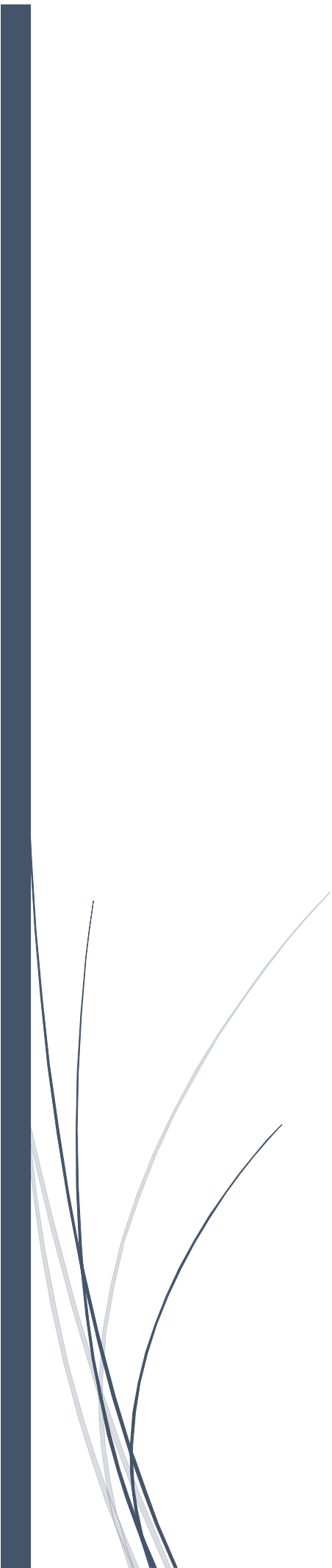
IV.2.6.1.2. Accidents physiologiques

Dû à un excès ou manque d'eau dans le sol, à une trop forte concentration du sol en chlorure de sodium et à un manque d'oligo-éléments dans le sol. Ces accidents se traduisent par un arrêt de croissance et un jaunissement complet de la plante qui finit par mourir (Ortega *et al.*, 2004).

Partie Expérimentale



Matériel et Méthodes.



Matériel et méthodes.

1. Matériel végétal

Ce travail a été réalisé dans le Laboratoire de Botanique à l'Université de Mostaganem et les conditions de culture sont gardées semi contrôlées.

Les expérimentations sont menées sur des graines du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), (variété fournie par le laboratoire d'Ecophysiologie végétale d'Es-Senia, Oran). Les graines d'une taille moyenne (fig. 10) ont séjourné dans un réfrigérateur à 7°C pendant longtemps en prévision de la levée de dormance.



Figure 10. Graines de *Phaseolus vulgaris* L.
Variété Coco rose.

Avant utilisation ces graines ont subi un premier bain dans une solution d'hypochlorite de sodium à 8% pendant trois minutes afin de les désinfecter et éliminer les impuretés. Elles sont ensuite rincées plusieurs fois à l'eau distillée pour éliminer toute trace de chlore. Les graines, une fois séchées en conditions ambiantes, sont déposées en boîte de Pétri pour la germination. Dès les premières germinations, les plantules sont soigneusement repiquées dans des pots en attendant l'application de la solution saline.

2. Sable

2.1. Dispositif expérimental

2.1.1. Préparation de la culture

La culture est réalisée dans des pots en plastique d'une capacité de 2 kg, d'un diamètre de 15 cm et d'une hauteur de 20 cm, dont le fond est tapissé avec du gravier afin d'assurer un bon drainage.

Le sable utilisé comme substrat a été prélevé aux bords de la plage au niveau de trois stations différentes : Ben Abdel Malek Ramdane (BAR), Sidi Lakhdar (SLK) et Achaacha (ACH) (Wilaya de Mostaganem). Les trois zones retenues dans cette étude diffèrent essentiellement par la granulométrie du sable ; La zone ACH est caractérisée par une granulométrie un peu plus grossière, suivie par la zone BAR avec une granulométrie moyenne, tandis que la zone SLK est constituée de sable plus fin.

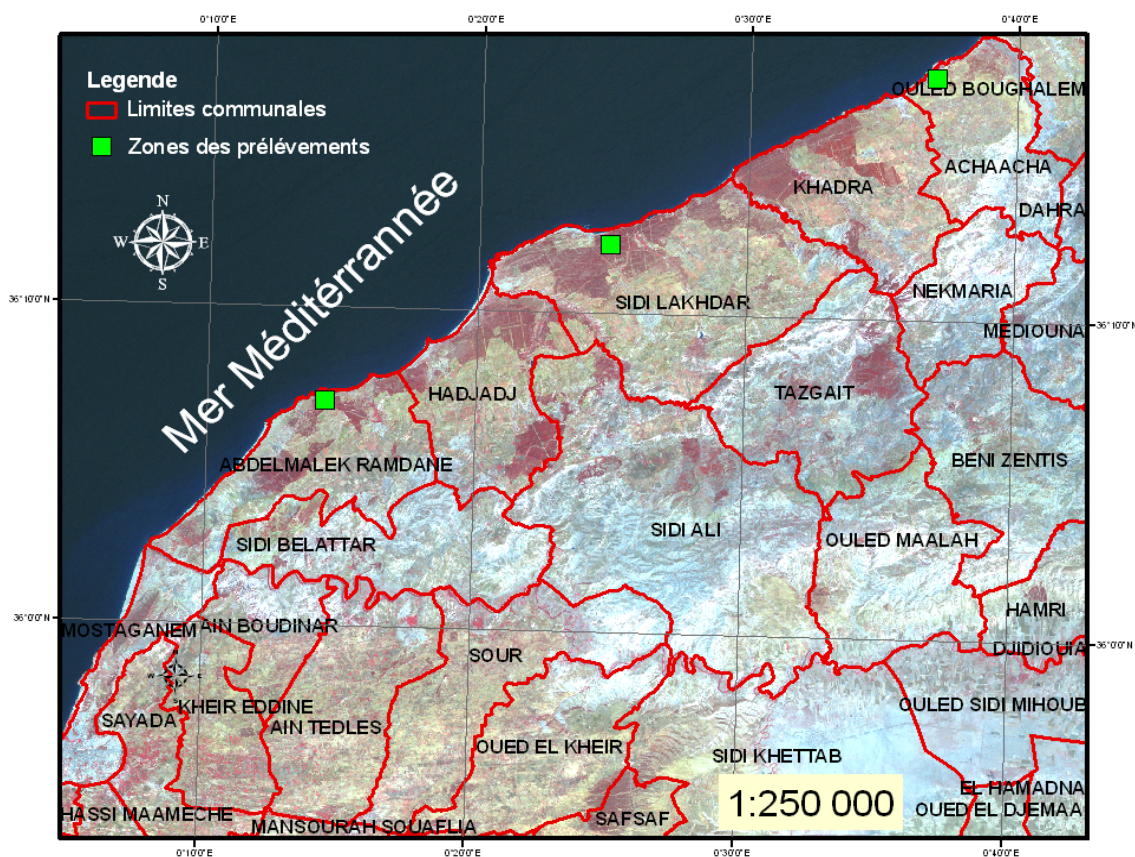


Figure 11. Carte géographique des zones de prélèvements.

Le sable a subi plusieurs opérations successives de lavage avant l'emportage à des pots remplis de sol a sable normal de chaque station et un sol avec la bentonite à 7% (3 pots à sol normal, et 3 pots avec la bentonite).

- Un tamisage approprié permet de supprimer les différents débris et déchets dans le but d'obtenir un sable fin (fig. 12).
- Des lavages successifs à l'eau ordinaire puis à l'esprit de sel pour éliminer les carbonates, les chlorures, etc.
- Des rinçages répétés à l'eau distillée sont appliqués afin d'éliminer toute trace de chlore ; enfin, le sable est séché à l'air libre. Un test au nitrate d'argent a été utilisé pour vérifier la pureté du substrat concluant la limpidité de la solution.
- Au dernier stade de ces préparations, le sable est mélangé avec de bentonite après une pesée et mis dans les différents pots. Ce poids est nécessaire car il permet de calculer la capacité de rétention et donc de prévoir la dose d'arrosage à employer durant la culture des plantes.



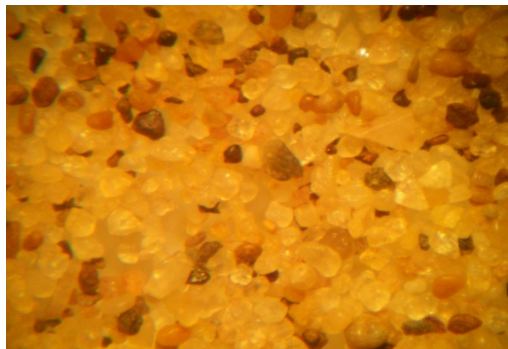
A- Les Particules de la bentonite



B- Particules de sable de Benabdel Malek Ramdane.



C- Particules de sable de Sidi



D- Particules de sable d'Achaacha

Figure 12. Agrandissement des particules des substrats utilisés (100X).

La bentonite naturelle a été utilisée à son état brute sans préparation. Ce matériau possède un pourcentage élevé en sodium échangeable (77% de la capacité d'échange). Une telle proportion de sodium peut avoir une action néfaste sur les propriétés physico-chimiques des sols ; lors de l'introduction dans se dernier dans le mélange (Sable + Bentonite) comme le montre le tableau 7 ci-dessus indiquant la teneur des oligo-éléments

Tableau 7. Composition chimique de la bentonite de Mostaganem (Bendjema, 1984).

Eléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Teneur en (%)	61,20	13,50	3,55	2,78	4,52	1,57	1,73



Figure 13. Bentonite.

2.1.2. Préparation de système hydroponique.

L'hydroponie ou culture hors-sol regroupe sous ce terme selon Jeannequi (1987). Plusieurs procédés de production qui permettent aux plantes une croissance et de se développer apparent en absence de sol. Selon Morard (1995), les racines des végétaux en cultures hors-sol sont alimentées par un milieu liquide minéral ; la solution nutritive elle ne nécessite pas de support solide ou substrat car celui-ci ne joue aucun rôle dans la nutrition de la plante.

Toujours selon le même auteur, les terminologies utilisées dans ce domaine sont :

- La culture hors-sol ou sans sol : c'est le terme le mieux adapté,
- La culture hydroponique ; tire son nom du grec (hydro = eau, ponos = travail),
- Aquiculture : un terme attribué aux cultures de plantes sur milieux liquides aérés et non circulant,
- Aéroponie : concerne les cultures sur bouillard nutritif,
- Culture sur N.F.T (nutrient film technique) utilisant un milieu liquide circulant,
- Culture sur substrat : ce terme ne peut être utilisé que si la nature du substrat est précisée (culture sur laine de roche, culture sur sable).

2.1.2.1. Avantages de la culture hors sol

Ce procédé présente de nombreux avantages :

- Un rendement nettement supérieurs et considérable
- Le substrat est inerte et reste aéré,
- Le dosage en éléments nutritifs peut être optimisé pour la variété cultivée,
- Le risque de sécheresse est moindre, le substrat retient plus d'eau que le sol (80% de son volume dans le cas de la laine de roche),
- Inversement, aucun risque de noyade les racine. Une fois l'eau est saturée, le substrat reste perméable, laisse s'écouler le trop plein,
- Les insectes du sol ne s'installent pas dans un substrat inerte,
- Les germes des maladies ne s'implantent pas, ou au pire, se propagent mal dans cet environnement organiquement stérile moins de travail et d'entretien,
- Les substrats sont plus légers, que le sol et ne contiennent pas de graines ni d'insectes indésirables (Lesaint, 1987).

Dans le système hydroponique, la culture a été réalisée dans des pots en plastique d'une capacité de 150 g, d'un diamètre de 4.5 cm et d'une hauteur de 9 cm, remplis avec de l'eau

distillée, et recouverts avec un filet vert en plastique perforé (fig. 14).

Dans chaque pot nous avons mis deux à trois graines germées de Haricot de sorte que la plantule de chaque graine reste en contact avec la solution.

On a créé un réseau de fils pour que la plante puisse grimper. Les fils sont liés à un support métallique ; ce dernier porte aussi une source de lumière représenté par un néon de 30 Watt avec un éclairage blanc ; le dispositif de l'appareillage de lumière est connecté avec une prise contrôlent automatiquement le temps d'éclairage réglage de minuterie (12 heures éclairage / 12 heures obscurité) ; on a mis le système dans le laboratoire avec toutes les conditions préférables de température (25°C), aération et humidité.

Dans les sept premiers jours nous avons effectué une pré-irrigation à l'eau distillée ; dans le 8^{ème} jour nous avons effectué des arrosages à la solution nutritive et dans le stade de 4 à 5 feuilles, nous avons appliqué le choc salin tous les deux jours.



Germination de
graines d'haricot



Culture de plante
d'haricot

Figure 14. Système hydroponique.

2.2. Méthodes d'analyses physico-chimiques des sols

2.2.1. Détermination de la capacité de rétention (R)

Pour déterminer la dose d'irrigation, nous avons prélevé un échantillon de 100g (E) de sable préalablement séché à l'air libre que nous avons mis dans un petit pot que nous avons humecté jusqu'au point de saturation. 24 heures après, nous avons effectué la pesée (e).

$$R = \frac{E-e}{E} \cdot 100$$

R : Capacité de rétention

E : Poids globale (sable + eau) en gramme

e : Perte d'eau en gramme

2.2.2. Mesure de la Salinité et du pH

Faire les mesures des échantillons à $T = 20^{\circ}\text{C}$ en plongeant l'électrode dans cet échantillon et on laisse le pH mètre se stabilise pendant quelques secondes, et en fin, on note la valeur du pH (fig. 15).



Figure 15. pH-mètre (pH-/mV-mètre, étalonnage en 2 points HI 2211).

2.2.3. Conductivité électrique (CE)

On prépare une suspension de 10 g de sol dans 20ml d'eau distillé et après agitation pendant deux (02) heures, on mesure la CE par le conductimètre (fig. 16).



Figure 16. Conductimètre (CYBERSCAN CON 510).

2.2.4. Dosage des sels solubles

Les analyses des échantillons des sols après la fin de la culture (60 jours) sont menues des traitements chimiques au laboratoire INSID du Matmar-Relizane.

Dosage des anions et des cations ;

2.2.4.1. Dosage du chlore

La méthode de MOHR est présentée ici ; le chlore est précipité par le nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction indiquée par l'apparition d'un précipite rouge de chromate d'argent.

Calcul

$$Cl_{(meq.l^{-1})} = \frac{Ev-v' F.N.D.1000}{U}$$

V : volume d'AgNO₃ utilisé pour titrer l'échantillon,

V' : volume d'AgNO₃ utilisé pour titrer le témoin,

U : volume de la prise d'essai,

D : inverse de facteur de dilution de la solution titrée,

N : normalité d'AgNO₃ d'utiliser pour la titration, (0,1N) dans notre exemple.

2.2.4.2. Dosage des sulfates

La méthode gravimétrique présentée est basée principalement de faire précipiter les sulfates sous forme de sulfate de baryum.

Calcul

$$\text{SO}_4 \text{ (meq.l}^{-1}\text{)} = \frac{\text{B} \cdot 8,56 \cdot \text{D} \cdot 1000}{\text{V}}$$

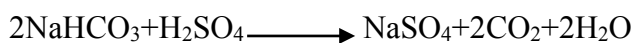
B : poids de BaSO₄ précipité,

V : volume de la prise d'essai,

D : inverse du facteur de dilution.

2.2.4.3. Dosage des carbonates et bicarbonates

Lors d'une attaque acide ; les carbonates se décomposent en deux étapes.



En présence d'indicateur ; la fin de la réaction est indiquée par un changement de couleur, soit un virage.

Calculs

$$\text{CO}_3^{-2} \text{ (meq.l}^{-1}\text{)} = \frac{2 \cdot \text{V}_1 \cdot 0,01 \cdot \text{D} \cdot 1000}{\text{V}}$$

$$\text{HCO}^- \text{ (meq.l}^{-1}\text{)} = \frac{\text{E} \cdot \text{V}_2 - \text{V}_{3\text{F}} \cdot 0,01 \cdot \text{D} \cdot 1000}{\text{V}}$$

V : volume de la prise d'essai.

D : inverse du facteur de dilution.

Ces analyses ont été réalisées au laboratoire régional ouest d'analyses des sols et des eaux d'irrigation de l'INSID à El Matmar (Wilaya de Relizane). Ou ont utilisée le spectrophotomètre absorption atomique pour les analyse des cations (Aubert, 1960).

2.3. Germination

Les graines sont mises à germer dans des boîtes de Pétri en verre d'un diamètre de 19 cm. (fig. 17) Les boîtes sont garnies de 4-5 rondelles de papier-filtre humidifié de 20 ml d'eau distillée.



Figure 17. Germination des graines de *Phaseolus vulgaris* L. Dans des boîtes de Pétri (phase semis).

Une dizaine de graines au maximum sont déposées sur les filtres, espacées de manière à éviter un chevauchement des racines pouvant aboutir à la cassure au moment du repiquage. Les boîtes étiquetées, sont ensuite placées à la lumière à une température ambiante de 20°C environ. Nous avons considéré une graine germée lorsque l'émergence et la croissance de la racicule se manifestent.

2.4. Repiquage

Le repiquage a été effectué après une semaine de germination. Les plantules sont transférées soigneusement à raison de 5 plantules par pot, puis déposées en salle de culture une température ambiante et à la lumière du jour (fig. 18).



Figure 18. Plantules en pot, cultivées en salle de culture à la température ambiante et à la lumière du jour.

2.5. Préparation des solutions d'arrosage

2.5.1. Solution nutritive

La solution nutritive utilisée est celle de (Hoagland,1938), diluée au 1/1000^{ème} couramment utilisée au laboratoire de physiologie végétale. Les plantes témoins reçoivent exclusivement de la solution nutritive (tableau 8).

Au cours de la culture des plantes, l'arrosage se fait tous les deux jours à la solution nutritive à 30% de la capacité de rétention depuis le semis jusqu'à l'application du stress salin (au stade 4 à 5 feuilles).

Tableau 8. Composition chimique de la solution nutritive (Hoagland, 1938).

Composants	Poids (g.l ⁻¹)
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)	210.00
Sulfate de magnésium (SO ₄ Mg 7H ₂ O)	61.50
Phosphate mono potassique (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)	1.00
Sulfate de cuivre (CuSO ₄ 5H ₂ O)	0.17
Sulfate de zinc (ZnSO ₄ 7H ₂ O)	0.22
Acide borique (H ₃ BO ₃)	2.86
Molybdate d'ammonium (MO ₇ O ₂₄ (NH ₄) 7H ₂ O)	0.28
Complexe ferrique EDTA (C ₁₀ H ₁₂ FeN ₂ NaO ₈)	0.05

2.5.2. Solutions salines

Elles sont préparées pour le premier protocole d'arrosage à partir d'une combinaison de deux sels, le chlorure de sodium (NaCl) et le chlorure de calcium CaCl₂. Le (NaCl) augmente l'absorption de l'eau, dès que sa concentration augmente, il devient toxique et nocif. Le chlorure de calcium est un sel soluble moins toxique que Le (NaCl) ; il joue le rôle d'un catalyseur de croissance, permet la fixation d'azote et possède la capacité de précipiter les substances toxiques que les plantes sécrètent.

En outre, l'usage du CaCl₂ dans cette solution saline (tableau 9) s'impose en raison du rôle physiologique du calcium chez les végétaux dans la régulation de la croissance et du développement et du métabolisme des plantes (Kreimer *et al.*, 1988). A cet effet, le (NaCl) associé au CaCl₂ produit un milieu salin (Lesaos, 1978) alors que la solution avec seulement du (NaCl), est plutôt sodique (Belkhodja, 1996).

Les deux solutions sont mélangées (V/V) pour obtenir un volume de 2 litres de solution saline à une concentration de 50, 100 et 200 meq.l⁻¹ de solution nutritive de (Hoagland, 1938).

Tableau 9. Préparation des solutions salines de Na Cl + CaCl₂.

	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹
NaCl g.l ⁻¹	2.92	5,85	11,7
CaCl ₂ g.l ⁻¹	3.67	7,35	14,7

2.6. Irrigation

Avant de semer, nous avons effectué une pré-irrigation à l'eau distillée en vue de permettre un bon emplacement et une parfaite adaptation des graines dans le pot.

Dès la germination, nous avons effectué des arrosages à la solution nutritive avec des volumes correspondant à 30% de la capacité de rétention (soit 36.54 ml) pour le stade 1-2 feuilles).

Au stade 3-4 feuilles, nous avons augmenté la dose d'irrigation à 30% de la capacité de rétention.

Cet apport est renouvelé tous les deux jours, afin d'éviter l'épuisement des éléments nutritifs et l'accumulation des sels dans le substrat par évaporation de l'eau.

Le choc salin est appliqué sur les plants dès qu'ils ont atteint le stade de 4-5 feuilles.

2.7. Mesure biométrique de la tige et racine

L'étude du matériel végétal a été réalisée par des observations et des mesures biométriques sur les racines et les tiges (fig. 19), des observations anatomiques sur les tiges et les racines et enfin le dosage de quelques cations dans les tiges et les racines.



Figure 19. Mesure de la longueur des tiges et des racines.

2.8. Etude anatomique des tiges et des racines

Cette partie du travail a été réalisée au laboratoire de botanique département de biologie université de Mostaganem

Après chaque traitement, les plantules sont déterrées et débarrassées du substrat par un rinçage à l'eau distillée. Les organes (tiges et racines) sont soigneusement séparés au moyen d'une lame de rasoir puis sectionnés en pièces de 1 à 2 cm de long. Seuls les échantillons des parties médianes sont pris en considération.

Des coupes transversales sont effectuées à « mains levées » sur des tiges et des racines au moyen d'une lame de rasoir. Des coupes fines d'une épaisseur moyennant les 20 μm d'épaisseur sont colorées par la technique de double coloration (vert de méthyle/rouge Congo). Les coupes sont d'abord traitées à l'hypochlorite de sodium à 8% pendant 15 mn. Après un rinçage soigneux à l'eau distillée, elles sont mordancées par l'acide acétique à 70% dilué, pendant 2 mn, puis colorées au vert de méthyle à 1% pendant 5 mn ; ce dernier colore en vert les parois lignifiées.

Les pièces sont ensuite lavées à l'eau distillée et colorées au rouge Congo à 2% pendant 15 mn. Ce colorant met en évidence la cellulose qui apparaît en rose ou en rouge (fig. 20).



Figure 20. Technique de la double coloration.

Les coupes sont ensuite lavées à l'eau distillée et montées dans une goutte d'eau entre lame et lamelle avant d'être observées d'abord au microscope ordinaire, ensuite sur un autre microscope muni d'un dispositif permettant une bonne prise de vue et la prise de photos (fig. 21).



Figure 21. Examen microscopique des racines et des tiges.

Les coupes sont conservées soit dans des piluliers contenant de l'eau distillée soit dans une goutte de baume de Canada placée entre lame et lamelle. Une fois les coupes colorées (fig. 22), elles sont observées par un microscope de type Optica menu d'appareillage de haute définition en prise de photo microscopique ; d'une photo tube ayant servi pour la prise des micrographies.

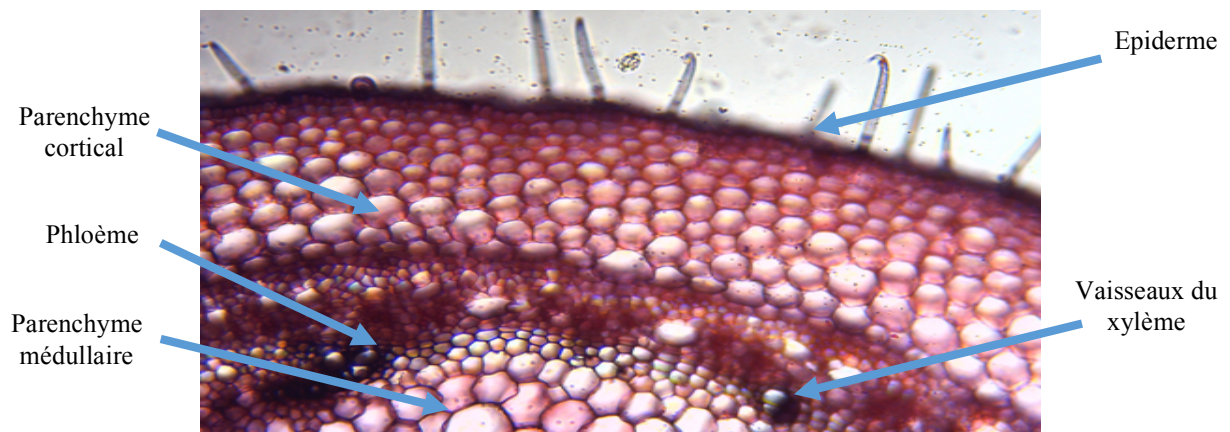


Figure 22. Coupe transversale d'une racine d'haricot (*Phaseolus Vulgaris* L.).
vue Microscopique a Gr : 100X.

2.9. Extraction et dosage de la proline

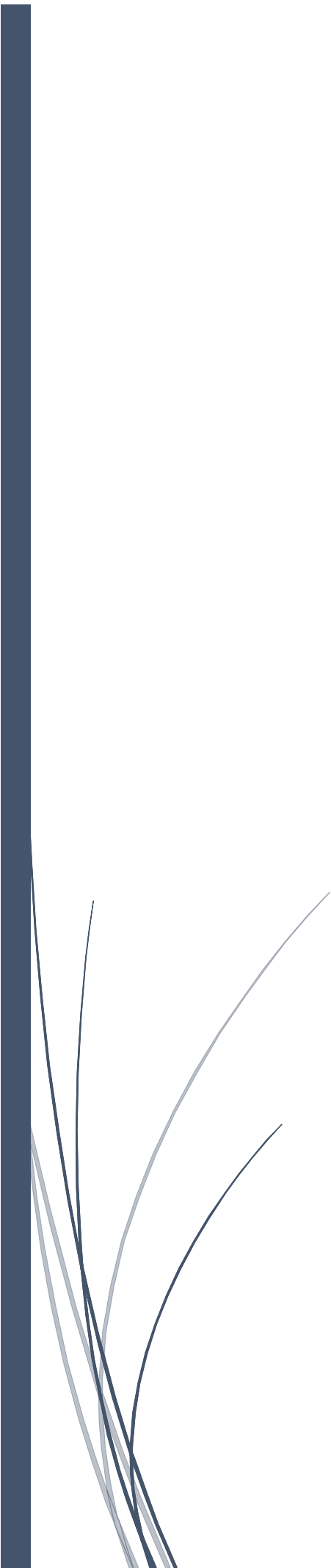
Cette partie du travail a été réalisée au laboratoire de chimie (valorisation des matériaux) département de chimie (Université de Mostaganem).

Le dosage de la proline est effectué sur la plante entière (tiges, feuilles et racines). La méthode utilisée est celle de Troll et Lind Sey (1955), modifiée par Dreier et Gôr ing (1978) : la proline est extraite à 85 °C par le méthanol et colorée par la ninhydrine, en présence d'acide acétique et d'acide orthophosphorique : la mesure de la coloration rouge obtenue est effectuée sur un spectrophotomètre à la longueur d'onde 528 nm (fig.23) .



Figure 23. Spectrophotomètre (6705 - spectrophotomètre UV-visible 4nm (190-1100 nm) - JENWAY).

Résultats Et Discussion.



Résultats et Discussion.

1. Caractéristiques du milieu de culture

1.1. La capacité de rétention

Le sol constitue le réservoir où les plantes puisent l'eau et les éléments minéraux nécessaires à leurs besoins. La capacité de ce réservoir dépend non seulement des caractéristiques du sol, mais aussi de la profondeur exploitable par les racines, d'où la notion de réserve utile racinaire (RUR). La texture et surtout la structure du sol jouent un rôle important dans la dynamique de l'enracinement des cultures (Chopart, 1980).

Les résultats obtenus sur la capacité de rétention des sols des trois stations sont illustrés dans le tableau 10.

1.2. Le pH du sol

Le pH est un paramètre important de la dynamique du sol, c'est une clé en agronomie car leur degré d'acidité ou de basicité joue un rôle très important sur l'assimilation des éléments nutritifs par la plante. Il a une influence sur trois composantes importantes de la fertilité d'un sol : la biodisponibilité des nutriments, l'activité biologique et la stabilité structurale (Idder *et al.*, 2013).

Le pH du sol ou potentiel d'hydrogène du sol exprime la concentration des ions (+) plus et représente le niveau d'acidité ou l'alcalinité d'un sol donné, c'est-à-dire les protons libres ou adsorbés dans le sol (Mvondo Awono, 1997).

Les résultats de traitement des sols par une solution fortement acide sont présentés dans le tableau 10.

L'analyse du tableau 10 révèle que pour les trois stations, le pH des substrats subit une diminution après la culture ; en particulier au niveau de la station de Sidi Lakhdar où il passe de 8.5 avant la culture à 3.7 après la culture.

1.3. Conductivité électrique

La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique. Elle varie en fonction de la température. Elle est liée à la concentration et à la nature des substances dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique. La conductivité d'un sol ou un sédiment est une mesure de la quantité d'ions présents et qui pourraient se dissoudre en présence d'eau.

Tableau 10. Caractéristiques du milieu de culture des trois stations.

		Station											
		Benabdel Malek Ramdane				Sidi Lakhdar				Achaacha			
Capacité de rétention		25.5%				24%				22%			
pH		7,5				7,3				7,4			
Conductivité (CE) $\mu\text{S}/\text{mg}$	Salinité meq.l^{-1}	0	50	100	200	0	50	100	200	0	50	100	200
	Sans Bentonite	0,10	0,10	0,13	0,16	0,06	0,07	0,12	0,15	0,04	0,05	0,11	0,15
	Avec Bentonite	0,10	0,12	0,18	0,22	0,06	0,10	0,15	0,18	0,04	0,08	0,16	0,19

1.3.1. Station de Benabdelmalek Ramdane

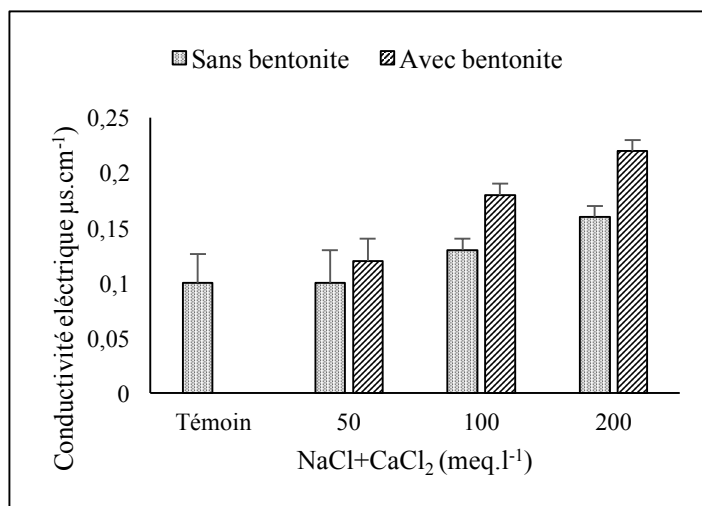


Figure 24. Variation de la conductivité électrique (CE) des substrats sans et avec bentonite en fonction de la concentration des sels.

La figure 24 relative à la variation de CE des substrats sans et avec bentonite en fonction de la salinité montre que, dans les deux substrats la CE évolue proportionnellement à l'évolution de la concentration saline. Les valeurs enregistrées sont respectivement de 0,10, 0,10, 0,13 et 0,16 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ sous 0, 50, 100 et 200 meq.l^{-1} dans le substrat sans bentonite et de 0,10, 0,12, 0,18 et 0,22 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ sous 0, 50, 100 et 200 meq.l^{-1} dans le substrat avec bentonite (Annexe 04).

1.3.2. Station de Sidi Lakhdar

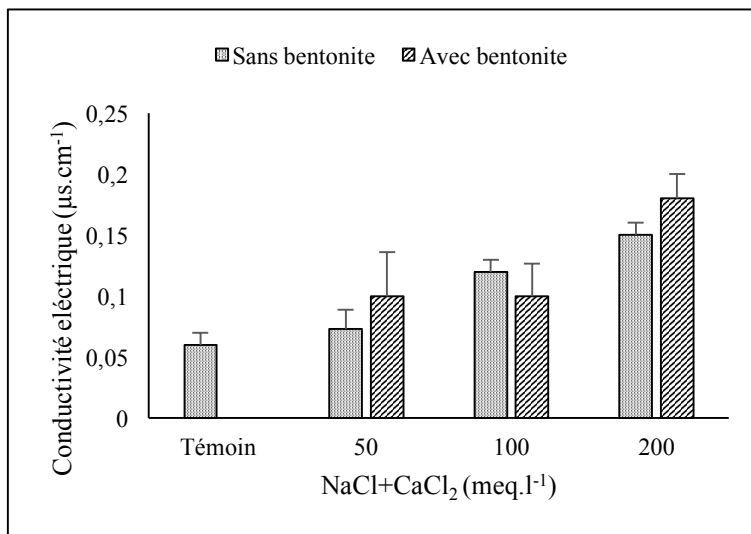


Figure 25. Variation de la conductivité électrique (CE) des substrats sans et avec bentonite en fonction de la concentration des sels.

L'examen de la figure 25 montre que la CE augmente dans le même sens que la concentration de la solution saline. La valeur la plus élevée est observée à 200 meq.l⁻¹ de NaCl + CaCl₂ sous le substrat avec bentonite avec 0,18 μs.cm⁻¹ suivie par le substrat sans bentonite 0,15 μs.cm⁻¹. En revanche, les valeurs de la CE les plus faibles sont enregistrées chez les sols témoins sans et avec bentonite 0,07 et 0,10 μs.cm⁻¹ respectivement (Annexe 04).

1.3.3. Station d'Achaacha

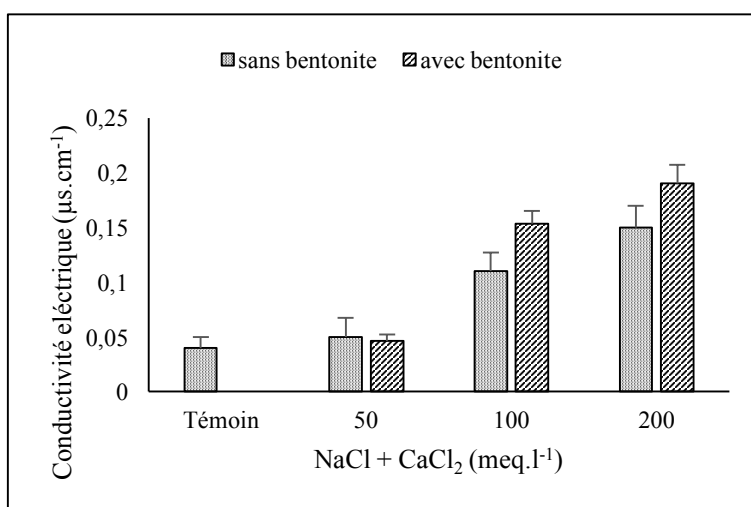


Figure 26. Variation de la conductivité électrique (CE) des substrats sans et avec bentonite en fonction de la concentration des sels.

La figure 26 montre que la CE augmente davantage dans les substrats lorsque la concentration saline augmente aussi bien dans le substrat sans bentonite, que dans le substrat avec bentonite. Elle passe significativement de $0,04 \mu\text{s}.\text{cm}^{-1}$ dans les témoins à $0,11$ et $0,15 \mu\text{s}.\text{cm}^{-1}$ et $0,10$ et $0,18 \mu\text{s}.\text{cm}^{-1}$ sous 100 et $200 \text{ meq}.\text{l}^{-1}$ respectivement (Annexe 4).

1.4. Dosage des anions et des cations des différents sols après traitement

1.4.1. Station de Benabdelmalek Ramdane

1.4.1.1. Dosages des anions

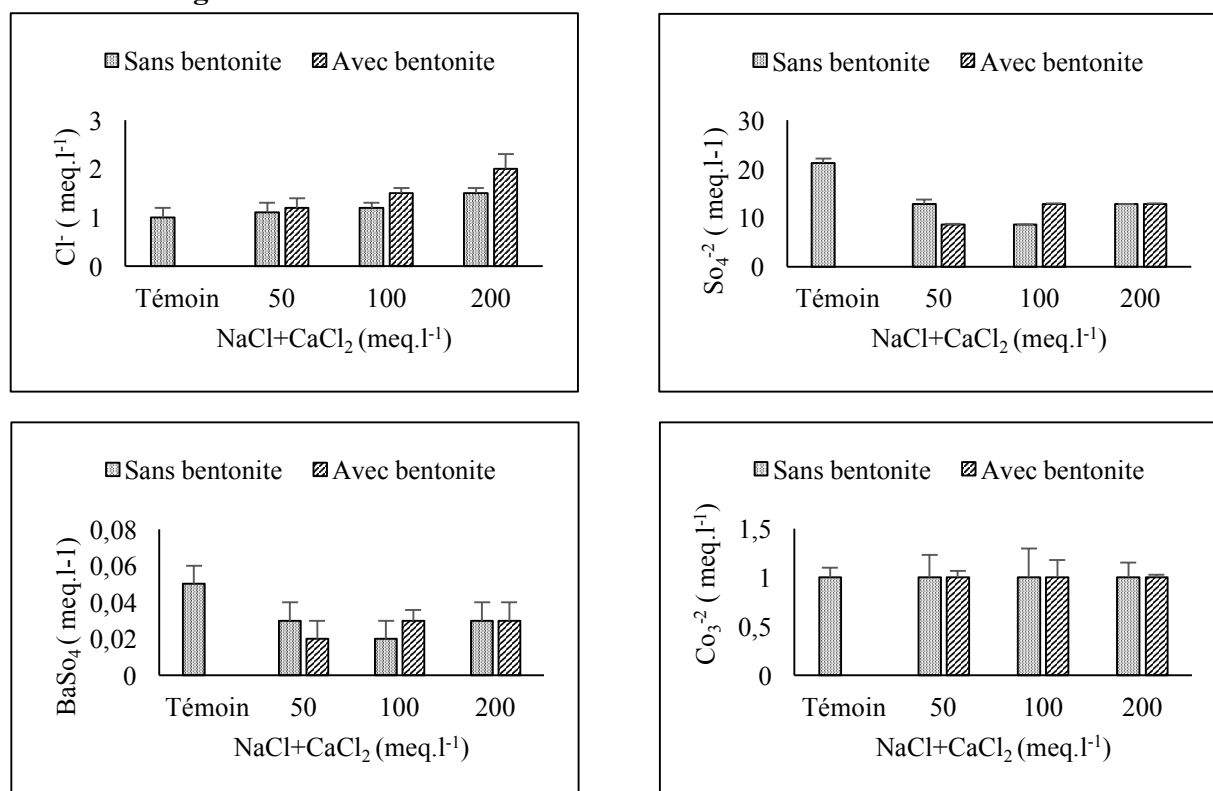


Figure 27. Variation des anions (Cl^- , SO_4^{2-} , BaSO_4 , CO_3^{2-}) en fonction des différents traitements.

Le sol T (témoin) sans traitement salin révèle une grande quantité en anion sulfates par rapport aux sols traités.

Les sols sans bentonite irrigués par les solutions nutritives et salines présentent une légère chute des sulfates. À cause probablement du lessivage des sels par les volumes d'irrigations sachant que les sols sableux possèdent une faible capacité de rétention d'eau et de sels. Les résultats montrent également une augmentation en chlorures à cause de la solution saline ajoutée à la solution nutritive. Cette augmentation est proportionnelle à l'augmentation de la concentration saline ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$).

Cette augmentation est probablement due à la mauvaise capacité d'adsorption des argiles vis-à-vis les anions (les bentonites piègent mieux les cations que les anions) et à celle du sol (25,5%).

1.4.1.2. Dosages des cations

Les résultats du dosage des cations sont présentés sous forme de graphe dans la figure ci-dessous.

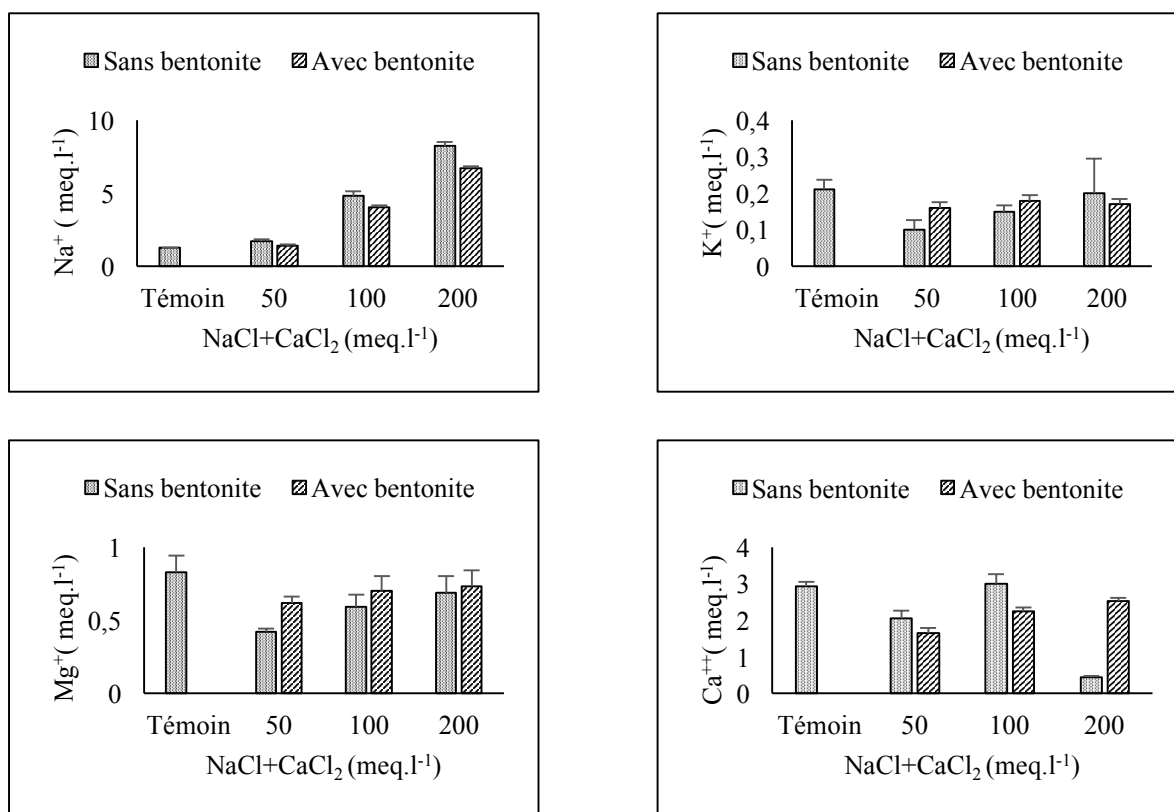


Figure 28. Variation des cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+}) en fonction des différents traitements.

Le sol T (Témoin) présente une nette diminution en sodium. Cette diminution est probablement due à leur migration vers la plante.

Dans le cas du calcium après le traitement il est présent avec des concentrations qui avoisinent les 2 meq.l⁻¹ (Annexe 02), cette valeur est peut être due à l'attaque de l'acide de quelques carbonates et d'hydroxydes de calcium. Cette attaque a entraîné probablement une légère adsorption du calcium par le sol traité. Les mêmes observations peuvent être faites pour le magnésium.

Quant au potassium (K^+) il se trouve en faible quantité dans le sol, après le traitement, cette quantité devient presque nulle, mais en présence de solution nutritive, la quantité de K^+ a

été vue en augmentation. Malgré sa concentration dans la solution nutritive, le potassium reste toujours stable dans le sol, ceci est dû probablement à son absorption par la plante.

L'ajout de la solution saline ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$) a fait augmenter la concentration de Na^+ dans le sol par rapport à celle de calcium, ceci peut être expliqué par l'absorption préférentielle de la plante beaucoup plus pour le Ca^{2+} que pour le Na^+ .

L'ajout de la bentonite a réduit la concentration en Na^+ par rapport au sol sans bentonite on sait que les bentonites sont connues par leurs capacités d'échanges cationiques. Il se peut que le Na^+ provenant de la solution nutritive s'êtré échangé avec le calcium qui se trouve dans la bentonite en position échangeable.

1.4.2. Station de sidi Lakhdar

1.4.2.1. Dosages des anions

L'analyse des différents sols utilisés en culture ; les valeurs en concentration (meq.l^{-1}) des sels anioniques (Cl^- , SO_4^{2-} , BaSO_4^{-2} , CO_3^{2-}) sont présentées ci-dessous

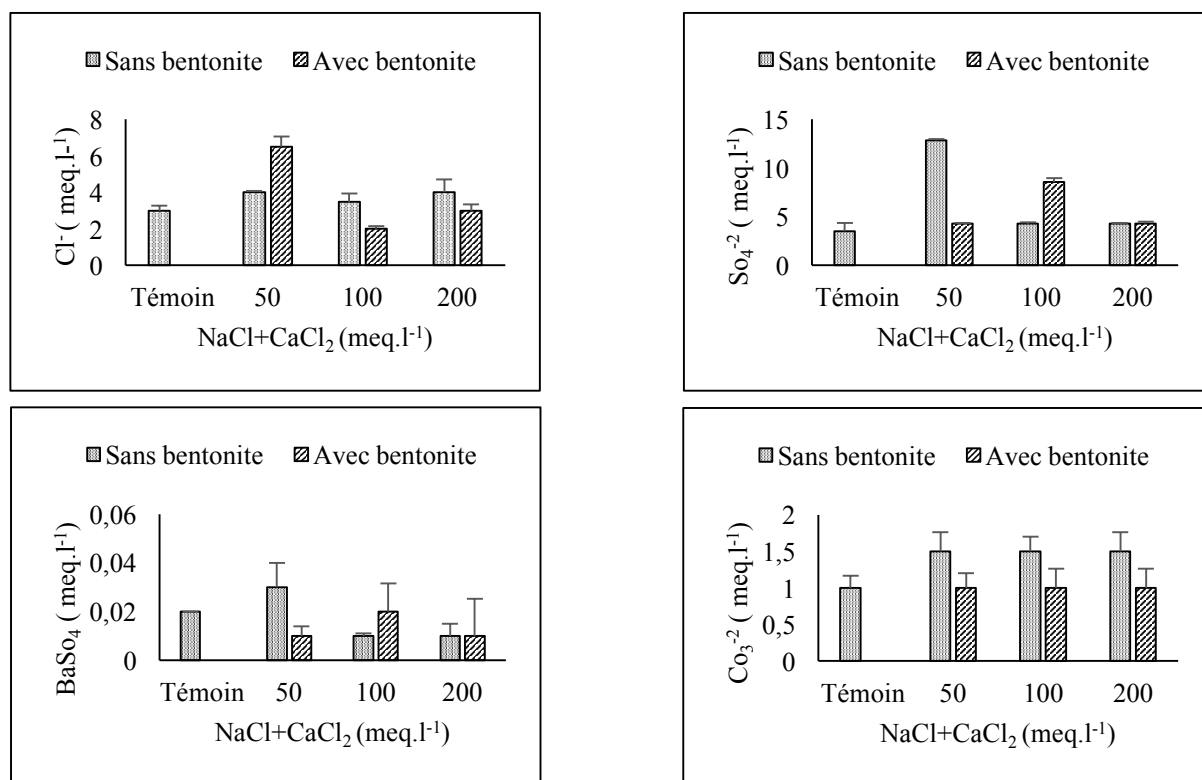


Figure 29. Variation des anions (Cl^- , SO_4^{2-} , BaSO_4^{-2} , CO_3^{2-}) en fonction des différents traitements.

Le sol T (témoin) sans traitement salin révèle une faible quantité en anion sulfates par rapport aux sols traités. Les sols avec bentonite irrigués par les solutions nutritives et salines présentent une légère chute des sulfates. Les résultats montrent également une augmentation en

concentration en chlorures surtout sans bentonite. Cette augmentation est proportionnelle à l'augmentation de la concentration saline ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$).

1.4.2.2. Dosages des cations

Les résultats sur le dosage des éléments minéraux (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+}) sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Le cation sodium a tendance à s'accumuler davantage lorsque la concentration du milieu augmente quel que soit le traitement apporté avec ou sans bentonite. En effet, sa teneur passe significativement de $1,15 \text{ meq.l}^{-1}$ chez les témoins sans bentonite à $8,70 \text{ meq.l}^{-1}$ avec 200 meq.l^{-1} de $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$. Alors que chez le mélange sable bentonite, les valeurs sont diminuées et atteignent respectivement $4,11 \text{ meq.l}^{-1}$ $7,23 \text{ meq.l}^{-1}$ à 200 meq.l^{-1} de $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ (Annexe 02).

L'élément calcium est présent avec des concentrations qui avoisinent les 3 meq.l^{-1} chez les témoins sans bentonite. Cette valeur restera constante jusqu'au traitement 100 meq.l^{-1} de $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$; mais à 200 meq.l^{-1} , sa valeur a doublé pour atteindre $6,43 \text{ meq.l}^{-1}$ (Annexe 02). Dans les sols additionnés de bentonite, les valeurs du calcium se montrent diminuées que se soit chez les témoins ou les traitées et qui sont respectivement $2,21 \text{ meq.l}^{-1}$ chez les témoins et $2,56 \text{ meq.l}^{-1}$ à 200 meq.l^{-1} de $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$. Quant au potassium (K^+), il se trouve en faible quantité dans le sol (fig. 31).

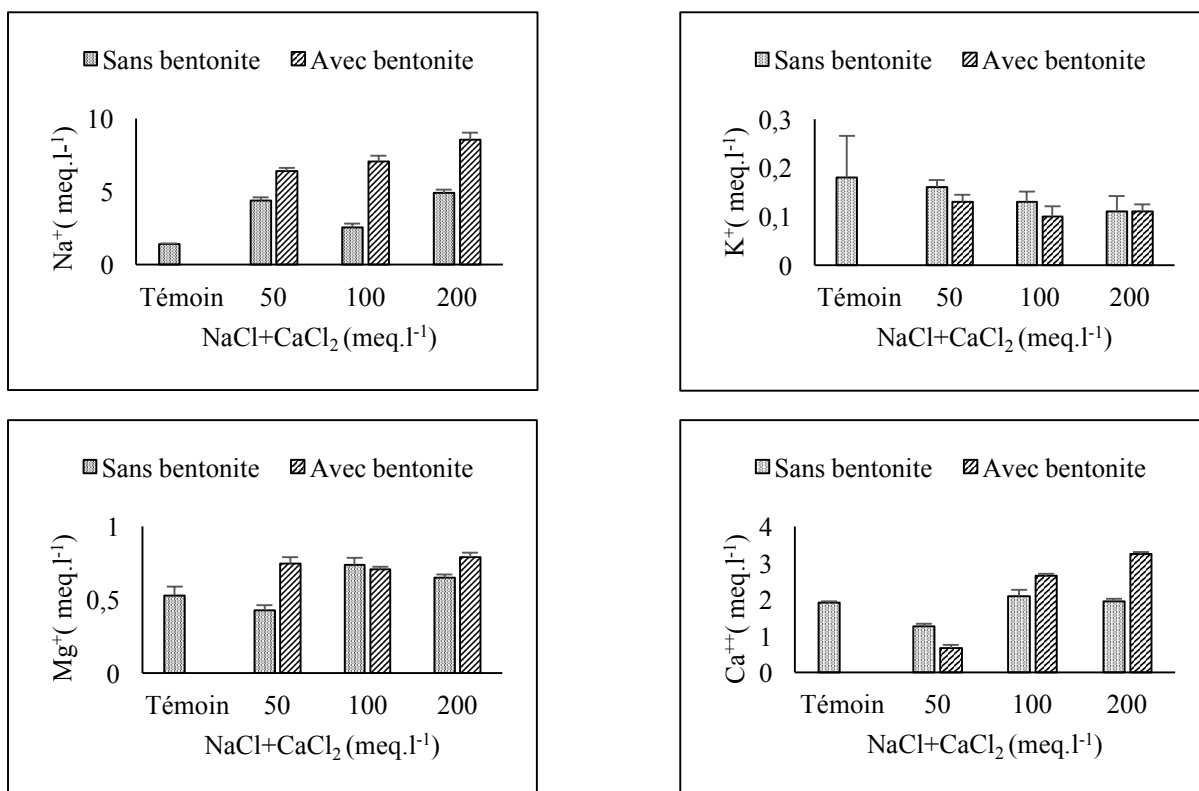


Figure 30. Variation des cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+}) en fonction des différents traitements.

1.4.3. Station d'Achaacha

1.4.3.1. Dosages des anions

L'analyse des différents sols utilisés en culture ; les valeurs en concentration (meq.l^{-1}) des sels anioniques (Cl^- , SO_4^{2-} , BaSO_4^{2-} , CO_3^{2-}) sont présentées ci-dessous.

Le sol témoin révèle une faible quantité en anion sulfates par rapport aux sols traités. Les sols sans bentonite irrigués par les solutions nutritives et salines présentent une teneur importante en sulfates beaucoup plus à 50 meq.l^{-1} ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$). Les résultats montrent également une augmentation en concentration en chlorures à cause de la solution saline ajoutée à la solution nutritive. Ces teneurs en chlorures ont tendance à régresser proportionnelle à l'augmentation de la concentration saline du milieu.

Cette augmentation est probablement due à la mauvaise capacité d'adsorption des argiles vis-à-vis des anions. La bentonite possède un pourcentage élevé de sodium échangeable (77 % de la capacité d'échange). Une telle proportion de sodium peut avoir, lors de l'introduction dans le sol, un effet néfaste sur les propriétés physiques et chimiques des sols. Tandis que la présence des bicarbonates est alors négligeable dans chaque cas.

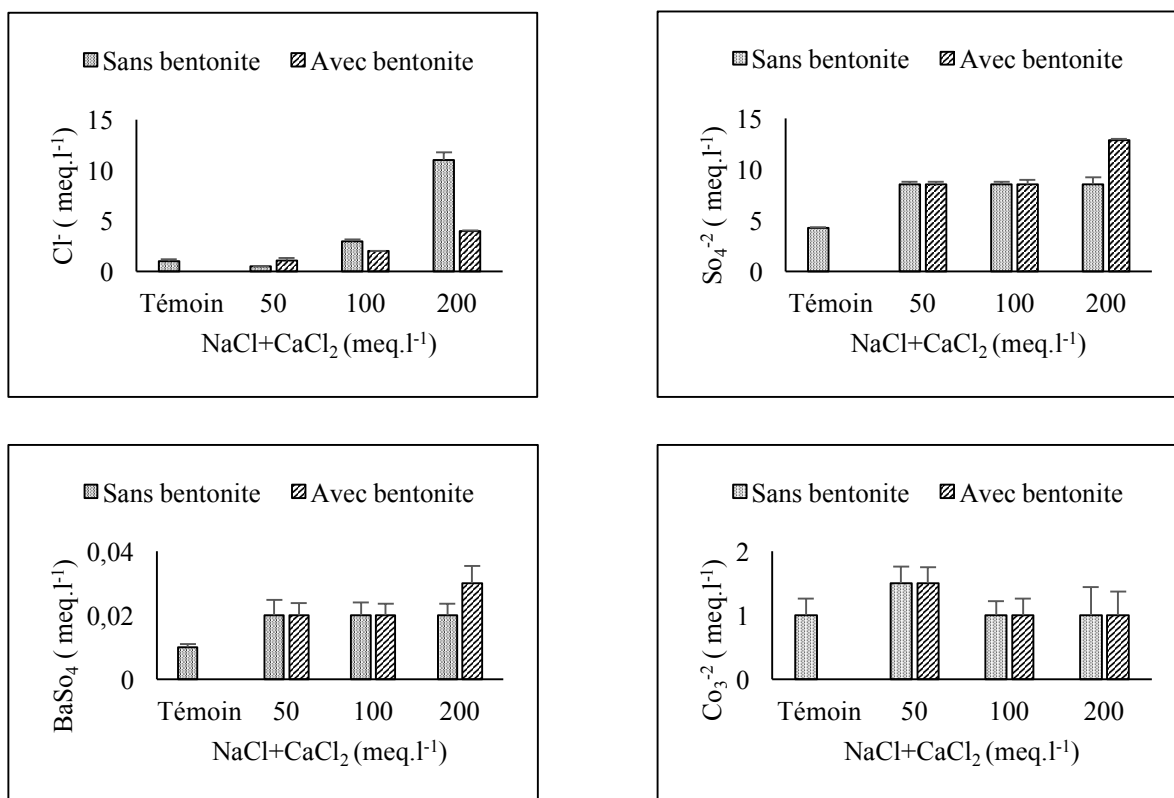


Figure 31. Variation des anions (Cl^- , SO_4^{2-} , BaSO_4^{2-} , CO_3^{2-}) en fonction des différents traitements.

1.4.3.2. Dosages des cations

Les résultats du dosage des cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+}) sont présentés sous forme de graphe dans la figure ci-dessous.

Le sodium s'accumule davantage lorsque la concentration du milieu augmente soit sous stress au $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ avec ou sans bentonite. En effet, sa teneur passe significativement de $1,42 \text{ meq.l}^{-1}$ chez les témoins sans bentonite à $8,32 \text{ meq.l}^{-1}$. Alors que chez le mélange sable bentonite, les valeurs sont diminuées et atteignent respectivement $4,11 \text{ meq.l}^{-1}$ à 50 et $6,80 \text{ meq.l}^{-1}$ à 100 meq.l^{-1} de $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ (Annexe 02) (Figure 32).

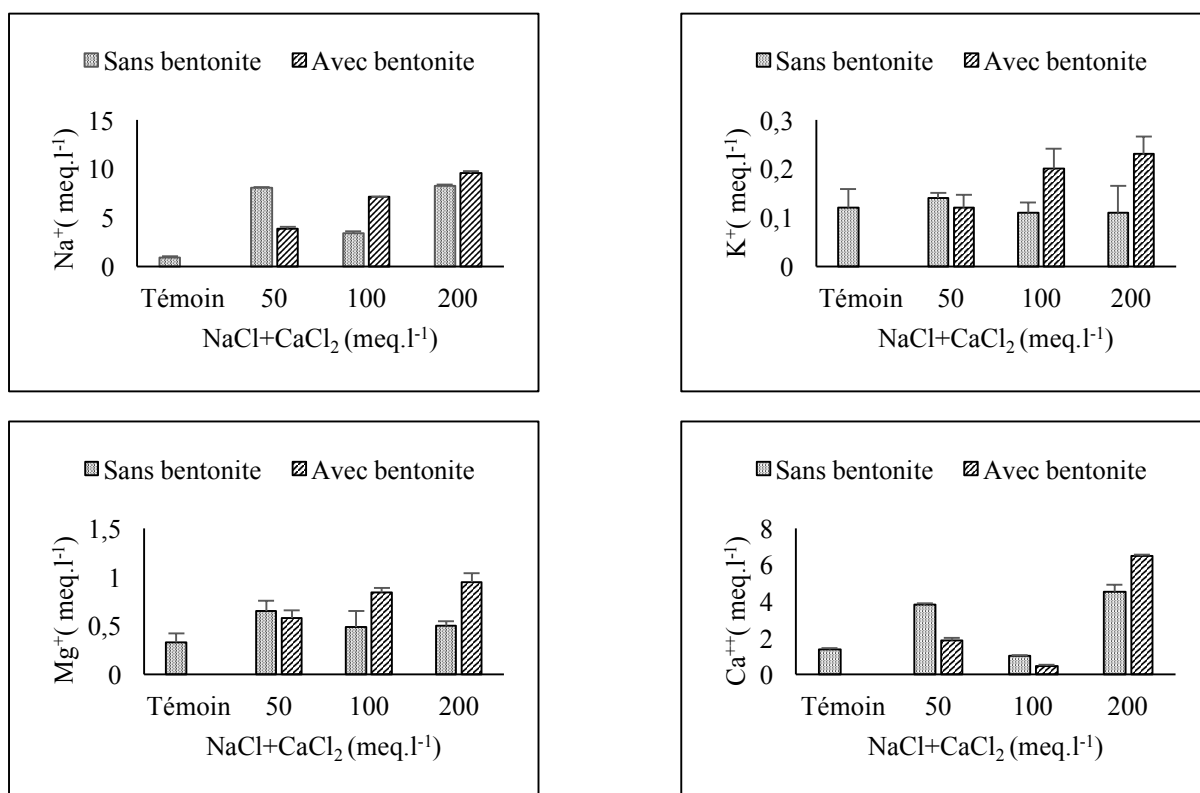


Figure 32. Variation des cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+}) en fonction des différents traitements.

Le calcium est présent avec des concentrations qui avoisinent les 3 meq.l^{-1} , cette valeur est peut être due à l'attaque de l'acide de quelques carbonates et d'hydroxydes de calcium. Cette attaque a entraîné probablement une légère adsorption du calcium par le sol traité. Les cations magnésium montrent des valeurs faibles et qui sont de l'ordre de $0,7 \text{ meq.l}^{-1}$ chez les témoins sans ou avec bentonite. Ces valeurs resteront constantes quelque soit la concentration de sel apportée.

Quant au potassium (K^+) il se trouve en faible quantité dans le sol, après le traitement, cette quantité devient presque nulle.

L'ajout de la solution saline ($NaCl + CaCl_2$) a fait diminué la concentration du Na^+ et du Ca^{2+} , ceci peut être expliqué par l'absorption préférentielle de la plante beaucoup plus pour le Ca^{2+} que pour le Na^+ .

1.5. Dosage de la proline endogène

La proline endogène présente des fluctuations quantitatives variées dans les différents organes (tiges, feuilles et racines). Les données obtenues montrent que les plantules de *Phaseolus vulgaris* L. soumises au stress de la salinité présentent une capacité de synthèse de la proline. Cette synthèse varie en fonction de la concentration en sels, la nature du sol et le stade de développement.

1.5.1. Station Ben Abdel Malek Ramdane

1.5.1.1. Dosage de la proline des plantes du 1^{ier} stress (7 jours)

Les plantules stressées pendant 7 jours (1^{ier} stress) montrent une teneur progressive en proline. Chez les témoins sans bentonite, cette teneur est de l'ordre de 0,11 et de 0,13 $\mu M \cdot mg^{-1} \cdot PS^{-1}$ pour les témoins avec bentonite (tableau 11). L'apport de sels augmente légèrement la teneur en proline chez les plantes avec et sans bentonite traitées à 100 et 200 $meq \cdot l^{-1}$ pour atteindre des valeurs double voir triple respectivement de 0,15 à 0,32 et 0,43 $\mu M \cdot mg^{-1} \cdot PS^{-1}$ (Annexe 03) (fig. 33).

Tableau 11. Teneurs en proline endogène chez les plantules du 1^{ier} stress aux $NaCl + CaCl_2$ (7 jours) sur un sol avec ou sans bentonite.

Sol Traitement $meq \cdot l^{-1}$	Sans bentonite				Avec bentonite		
	T	50	100	200	50	100	200
Proline ($\mu M \cdot mg^{-1} \cdot PS^{-1}$)	0,11 ± 0,05	0,15 ± 0,03	0,19 ± 0,09	0,32 ± 0,07	0,15 ± 0,08	0,28 ± 0,06	0,43 ± 0,12

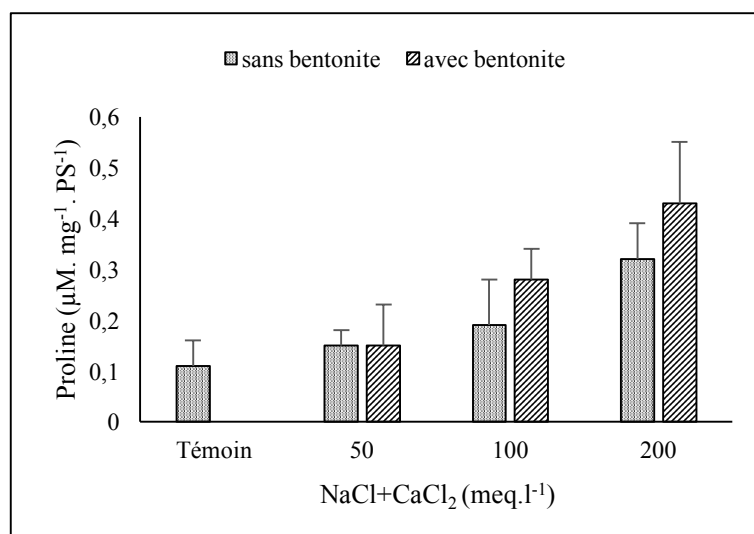


Figure 33. Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl + CaCl₂ de 7 jours.

1.5.1.2. Dosage de la proline des plantes du 2^{ème} stress (21 jours)

Les variations de la teneur en proline évoluent dans des proportions plus faibles. De même, l'accumulation de cet acide aminé augmente au fur et à mesure que le stress de la salinité augmente (50, 100 et 200 meq.l⁻¹) respectivement 0,50 0,34 et 0,61 $\mu\text{M} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{PS}^{-1}$ (tableau 12) pour les plantules cultivées sur sol sans bentonite. Chez les plantules poussant sur sol riche en bentonite, on remarque que les teneurs sont plus élevées chez les témoins. Ces valeurs continuent à grimper au fur et à mesure que le stress de la salinité augmente (50 et 100 meq.l⁻¹). A 200 meq.l⁻¹, la proline diminue légèrement pour atteindre 0,52 $\mu\text{M} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{PS}^{-1}$ (Annexe 03) (Fig. 34).

Tableau 12. Teneurs en proline endogène chez les plantules du 2^{ème} stress aux NaCl + CaCl₂ (21 jours) sur un sol avec ou sans bentonite

Sol	Sans bentonite				Avec bentonite		
	T	50	100	200	50	100	200
Traitement meq.l ⁻¹							
Proline ($\mu\text{M} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{PS}^{-1}$)	0,23 ± 0,01	0,50 ± 0,12	0,34 ± 0,09	0,61 ± 0,12	0,60 ± 0,11	0,64 ± 0,09	0,52 ± 0,13

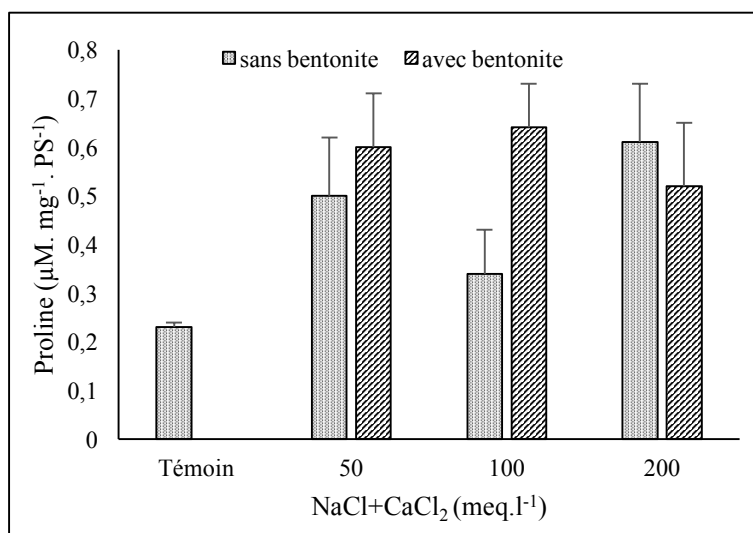


Figure 34. Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$) chez *Phaseolu vulgaris* L. après un stress aux NaCl + CaCl₂ de 21 jours.

1.5.2. Station de Sidi Lakhdar

1.5.2.1. Dosage de la proline des plantes du 1^{er} stress (7 jours)

Les plantules soumises au stress de la salinité pendant 7 jours (1^{er} stress) montrent progressivement une teneur en proline. Chez les témoins sans bentonite, cette teneur est de l'ordre de $0,21 \mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ et de $0,54$ $0,21 \mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ (Annexe 03) pour les témoins avec bentonite (tableau 13). Ces valeurs sont doublées pour les (SB) et qua triplées pour les (AB) comparativement à la station de Benabdelmalek Ramdane. L'apport de sel augmente la teneur en proline chez les plantes avec et sans bentonite traitées à 50 meq.l^{-1} pour atteindre des valeurs double voir triple (respectivement de $0,49$ et $0,71 \mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ (fig. 35). A 100 et 200 meq.l^{-1} NaCl + CaCl₂, les valeurs en proline avec bentonite diminuent pour atteindre $0,42$ et $0,47 \mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$. Alors que chez les plantes poussant sans bentonite, les valeurs sont de l'ordre de $0,32$ et $0,56 \mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ (tableau 13).

Tableau 13. Teneurs en proline endogène chez les plantules du 1^{er} stress aux NaCl + CaCl₂ (7 jours) sur un sol avec ou sans bentonite.

Sol	Sans bentonite				Avec bentonite		
	T	50	100	200	50	100	200
Traitement meq.l ⁻¹							
Proline ($\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$)	0,21 ± 0,03	0,49 ± 0,04	0,32 ± 0,06	0,56 ± 0,11	0,54 ± 0,12	0,42 ± 0,09	0,47 ± 0,05

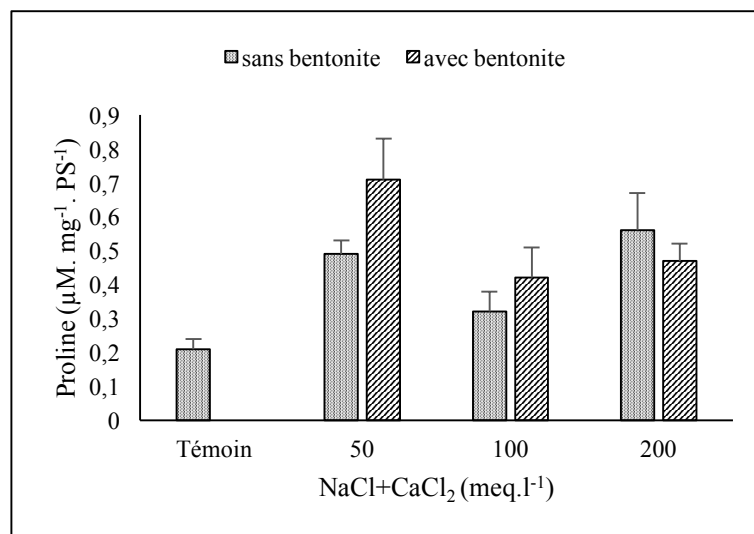


Figure 35. Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl + CaCl₂ de 7 jours.

1.5.2.2. Dosage de la proline des plantes du 2^{ème} stress (21 jours)

Les variations de la teneur en proline évoluent dans des proportions plus faibles. L'accumulation de cet acide aminé augmente au fur et à mesure que le stress de la salinité diminue légèrement (50, 100 et 200 meq.l⁻¹) respectivement 0,25 0,16 et 0, $\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ (fig. 36) pour les plantules cultivées sans bentonite. Chez les plantules poussant sur sol riche en bentonite, les teneurs sont plus faibles que chez les témoins sauf à 100 meq.l⁻¹ dont la teneur est de 0,22 $\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ (Annexe 03) (tableau 14).

Tableau 14. Teneurs en proline endogène chez les plantules du 2^{ème} stress aux NaCl + CaCl₂ (21 jours) sur un sol avec ou sans bentonite.

Sol	Sans bentonite				Avec bentonite		
	T	50	100	200	50	100	200
Traitement meq.l ⁻¹							
Proline ($\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$)	0,23 ± 0,03	0,25 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,13 ± 0,04	0,14 ± 0,03	0,22 ± 0,06	0,11 ± 0,02

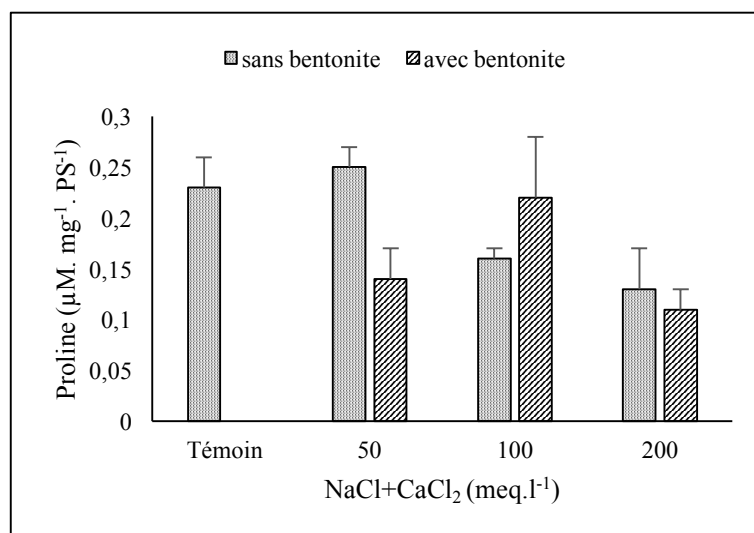


Figure 36. Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl + CaCl₂ de 21 jours.

1.5.3. Station d'Achaacha

1.5.3.1. Dosage de la proline des plantes du 1^{ère} stress (7 jours)

Les plantules stressées à la salinité pendant 7 jours (1^{ier} stress) montrent progressivement une teneur en proline. Chez les témoins sans bentonite, cette teneur est de l'ordre de 0,19 $\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ et de 0,27 pour les témoins avec bentonite (fig. 37). Ces valeurs progressent à chaque fois que la concentration en sel augmente. Chez les plantes poussant sur sol sans bentonite la proline atteint respectivement à 50,100 et 200 meq.l⁻¹ NaCl + CaCl₂, les valeurs de 0,36, 0,42 et 0,51 $\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$. L'apport de sel augmente la teneur en proline chez les plantes poussant sur sol avec bentonite comparativement aux plantes témoins. Les valeurs en proline atteignent 0,63, 0,48 et 0,51 $\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ (Annexe 03) (tableau 15).

Tableau 15 : Teneurs en proline endogène chez les plantules du 1^{ier} stress aux NaCl + CaCl₂ (7 jours) sur un sol avec ou sans bentonite.

Sol	Sans bentonite				Avec bentonite		
	T	50	100	200	50	100	200
Traitement meq.l ⁻¹							
Proline ($\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$)	0,19 ± 0,11	0,36 ± 0,12	0,42 ± 0,12	0,51 ± 0,21	0,63 ± 0,13	0,48 ± 0,14	0,51 ± 0,08

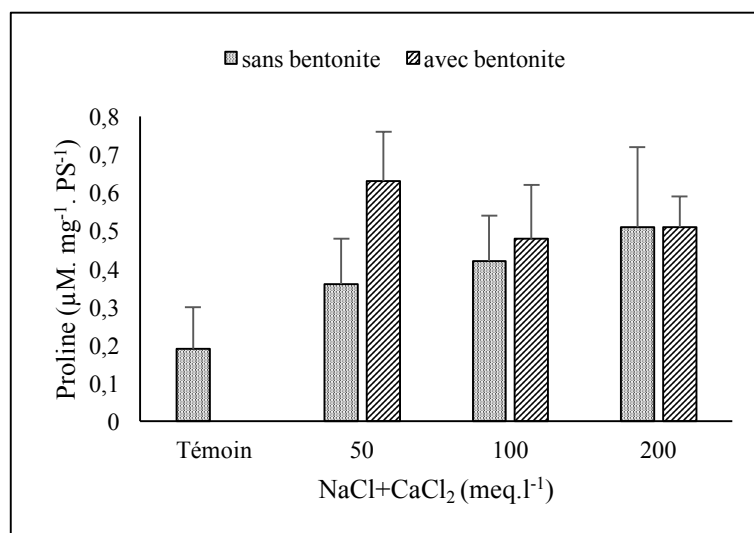


Figure 37. Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl + CaCl₂ de 7 jours.

1.5.3.2. Dosage de la proline des plantes du 2^{ème} stress (21 jours)

Les plantes stressées pendant trois semaines montrent une variation dans les teneurs en proline avec des proportions plus faibles comparativement aux autres stations. L'accumulation de la proline fluctue au fur et à mesure que le stress de la salinité augmente (50, 100 et 200 meq.l⁻¹) respectivement 0,25, 0,19 et 0,15 $\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ (fig. 38) pour les plantules cultivées sans bentonite. Chez les plantules poussant sur sol riche en bentonite, les teneurs sont de l'ordre de 0,18, 0,28 et 0,16 $\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$. Ces données montrent que les plantules stressées à 50 meq.l⁻¹ augmentent légèrement 0,25 (SB) et diminuent légèrement 0,18 chez (AB) comparativement à leurs témoins respectifs (Annexe 03) (tableau 16).

Tableau 16. Teneurs en proline endogène chez les plantules du 2^{ème} stress aux NaCl + CaCl₂ (21 jours) sur un sol avec ou sans bentonite.

Sol	Sans bentonite				Avec bentonite		
	T	50	100	200	50	100	200
Traitement meq.l ⁻¹							
Proline ($\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$)	0,22 ± 0,06	0,25 ± 0,05	0,19 ± 0,03	0,15 ± 0,03	0,18 ± 0,03	0,28 ± 0,07	0,16 ± 0,03

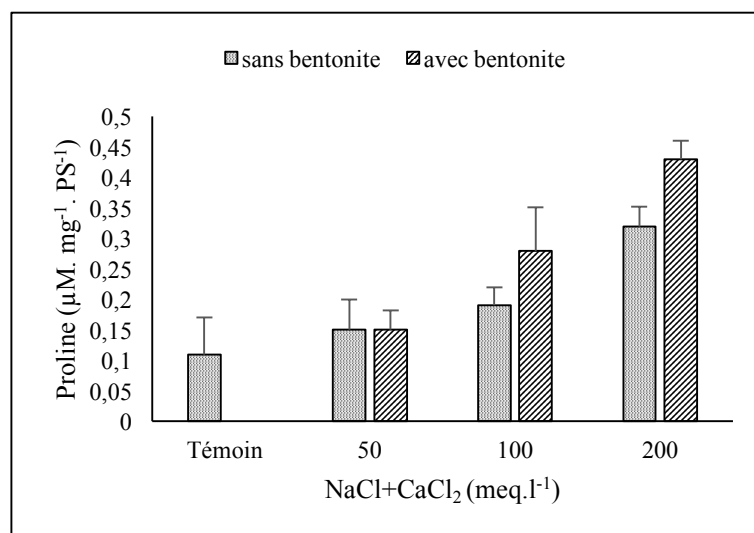


Figure 38. Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M.mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl + CaCl₂ de 21 jours.

Discussion

Cellules tendent par conséquent à ajuster leur propre potentiel hydrique en rétablissant l'homéostasie ionique cellulaire, que ce soit par la compartimentation vacuolaire des ions toxiques (Na^+ et Cl^-) absorbés et/ou leur exclusion hors de la cellule.

En revanche, si cela n'est pas suffisant la plante devra utiliser un autre moyen pour faire face au stress salin, qui consiste à synthétiser et accumuler des solutés organiques osmoprotecteurs principalement des composés aminés (proline) et des sucres.

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

De nombreux travaux rapportent que la proline s'accumule dans la plante lorsqu'elle se trouve en condition défavorables (Schields et Burnett, 1960).

Les quantités accumulées pourraient être liées au niveaux de tolérance aux stress (Singh *et al.*, 1973), la proline à un rôle dans le renforcement du système anti-oxydant et de lutte contre les dommages du stress (Khedr *et al.*, 2003 ; Demiral et Turkan, 2004 ; Ma *et al.*, 2006 ; Molinari *et al.*, 2007).

Elle pourrait également intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique (Pecsiet et Beffagna, 1984) le transport de la proline de la source (lieu de synthèse) au site de la résistance est admis longtemps comme un paramètres important dans l'acquisition de cette résistance

(Bellinger *et al.*, 1989), Paquin (1986) signale que la proline serait synthétisés dans les feuilles et transportée vers ces sites d'autres rapportent que l'acide aminé migre chez diverses plantes glycophytes vers les feuilles et s'y localise chez le sorgho (Weimberg, 1987) le coton (Boutelier, 1986) la fève (Belkhodja et Benkabilia, 2000) le trefle d'alexandrie (Benkhaled *et al.*, 2003) .

Nos résultats montrent que l'haricot (*phaseolus vulgaris* L.) conduit sous stress de la salinité à différent concentrations de sel (NaCl + ClCa₂) 50 meq.l⁻¹, 100 meq.l⁻¹ et 200 meq l⁻¹ illustre les variations des teneurs en proline analysés dans la plante entière (racines et tiges et feuilles) de la plante *phaseolus vulgaris* L. stressées a la solution saline (NaCl + CaCl₂). La teneur en proline dans la station abdelmalek Ramdane (w) Mostaganem varie de 0.11 µM.mg⁻¹.PS⁻¹ chez les plantes témoins seulement après (07 jours) de solution nutritive sans bentonite para port au plantes stressées a la solution saline 50 meq.l⁻¹ et de valeur de 0.15 µM.mg⁻¹.PS⁻¹ et de 0.32 µM.mg⁻¹.PS⁻¹ à 200 meq.l⁻¹ sans bentonite. Mai s l'ajout de la bentonite au sable chez les témoins a augmente progressivement les teneurs de proline de l'ordre de 0.13 µM.mg⁻¹.PS⁻¹ chez les plantes témoins et 0.15 µM.mg⁻¹.PS⁻¹ chez les plantes stressées a 50 meq.l⁻¹. Par contre 0.43 µM.mg⁻¹.PS⁻¹ chez les plantes stressées à 200 meq.l⁻¹ (fig. 33).

Mais dans la douzième période (21 jours) les teneurs en proline s'accroissent rapidement et varies de 0.50 µM.mg⁻¹.PS⁻¹ a 50 meq.l⁻¹ et 0.61 µM.mg⁻¹.PS⁻¹ a 200meq l⁻¹. La même chose se passe lorsqu'en utilise de la bentonite on constate que les teneurs de proline augmentent avec l'intensité du traitement salin les teneurs les plus élevés sont enregistres chez les plantes traites à 100 et 200 meq.l⁻¹ de 0.64 - 0.52 µM.mg⁻¹.PS⁻¹ para port au plantes témoins de l'ordre de 0.43 µM.mg⁻¹.PS⁻¹. (fig. 34). Cette résultat comparer par l'une trouvé par les auteurs (Yancey *et al.*, 1982 ; Silva-Ortega *et al.*, 2008) ; la proline agit en tant que composés soluble compatible dans l'ajustement osmotique pouvant atteindre de fortes concentrations sans exercer d'effet toxique comme le cas des ions (fig. 34).

En effet, l'acide aminé augmente significativement de teneur dans les plantes l'orsque le milieu devient de plus en plus concentré.il est remarqué que la proline s'accumule beaucoup plus dans les plantes stressées à (07 jours) dans les stations de Sidi Lakhdar et de Achaacha (w) de Mostaganem surtout avec la concentration 50 meq.l⁻¹ avec bentonite de teneur de proline égale a 0.7 µM.mg⁻¹.PS⁻¹ et 0.63 µM.mg⁻¹.PS⁻¹ et a concentration de 200 meq.l⁻¹ les valeurs sont de 0.47 µM.mg⁻¹.PS⁻¹ et de 0.51 µM.mg⁻¹.PS⁻¹ aussi bien chez les plantes témoins que celles ayant reçus la solution nutritives de (Hoagland, 1938) de variance égale a 0.54 µM.mg⁻¹.PS⁻¹ et 0.27µM.mg⁻¹.PS⁻¹ (fig. 35-37).

Mais après (21 jours) de stress les valeurs sont chuté progressivement de l'ordre de $0.14 \mu\text{M}.\text{mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ et $0.18 \mu\text{M}.\text{mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ a concentration égale a $50 \text{ meq}.\text{l}^{-1}$ et de $0.11 \mu\text{M}.\text{mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ a $0.16 \mu\text{M}.\text{mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ au stress salin de $200 \text{ meq}.\text{l}^{-1}$ (fig. 36). Les mêmes résultats trouvés sans utilisation de la bentonite dans les deux stations. Cette résultat confirme aspect trouve par les auteurs (Achraf et Foolad, 2007) ; l'accumulation de la proline chez diverses espèces de plantes stressées a été corrélée à leurs capacité de tolérance et sa concentration est généralement plus élevés chez les plantes tolérantes que les plantes sensibles. Pour cela l'accumulation de proline semble plutôt être une simple réaction de la plante qu'un comportement d'adaptation et de tolérance au stress (fig. 36-37).

L'étude des résultats obtenus (tableau 15) démontre que les différentes concentrations salines provoquent chez les plantes stressées des fluctuations de faibles intensité dans les 21 jours du stress salin surtout a la concentration saline par exemple $0.25 \mu\text{M}.\text{mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ a $50 \text{ meq}.\text{l}^{-1}$ et $0.13 \mu\text{M}.\text{mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ à $200 \text{ meq}.\text{l}^{-1}$ et $0.25 \mu\text{M}.\text{mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ a $50 \text{ meq}.\text{l}^{-1}$ et de $0.15 \mu\text{M}.\text{mg}^{-1}.\text{PS}^{-1}$ a $200 \text{ meq}.\text{l}^{-1}$ surtout quand en applique du bentonite. Selon François (2008) la capacité de rétention de l'eau par les lacunes des sols dépend de la teneur en limon et en argiles, car c'est un phénomène capillaire ; l'adsorption est d'autant plus grande que la taille des particules est plus faible.

Cette corrélation négative entre l'accumulation de la proline et l'humidité du sol est observée chez différentes espèces de blé dur (Nouri, 2002) chez luzerne (Hireche, 2006) il apparait que la proline peut conférer la tolérance des plantes aux stress par le développement d'un système anti oxydant qui peut jouer un rôle d'indicateur d'ajustement osmotique (Tahri *et al.*, 1997).

Nous ne voulons pas revenir sur la dose optimale de bentonite (07 %) qui nous a vont utiliser dans ce type d'amendement par expérience car plusieurs études ont étudié cette question (Elsherif, 1986 ; Bousnina et Mhiri, 1997 ; Benkhelifa et Daoud, 1998 ; Halila et Tessier, 2006).

Et pour cela notre expérience prendre en considération la texture du sol de trois stations différent prélèves contribue dans les propriétés d'hydratation du mélange ,même chose pour la nature initiale de la bentonite de Mostaganem utilise on prend en considération les propriétés de son mélange avec le sable au même titre que la texture de ce dernier, l'opération d'amendement en argile devrait donc être étudiées au préalable avec une caractérisations suffisantes des deux matériaux afin que le mélange assure une réserve hydrique a long terme a la plante *Phaseolu svulgais* L., a la limite de facilite son absorption minérale et faire une étude

de comparaison du bentonite de Maghnia (w) de Tlemcen et celle de Mostaganem et voire le mieux adapte a ce terme étude.

2. Caractérisation anatomique des racines et des tiges de *Phaseolus vulgaris* L.

Les coupes obtenues, utilisées comme matériel expérimental mis en observation sous microscope ont permis de procéder aux mensurations des cellules de vaisseaux conducteurs spécifiquement le xylème racinaire et caulinaire (fig. 39 et 40). Ces mensurations ont concerné les mesures du diamètre des vaisseaux à l'aide d'un micromètre adapté au microscope.

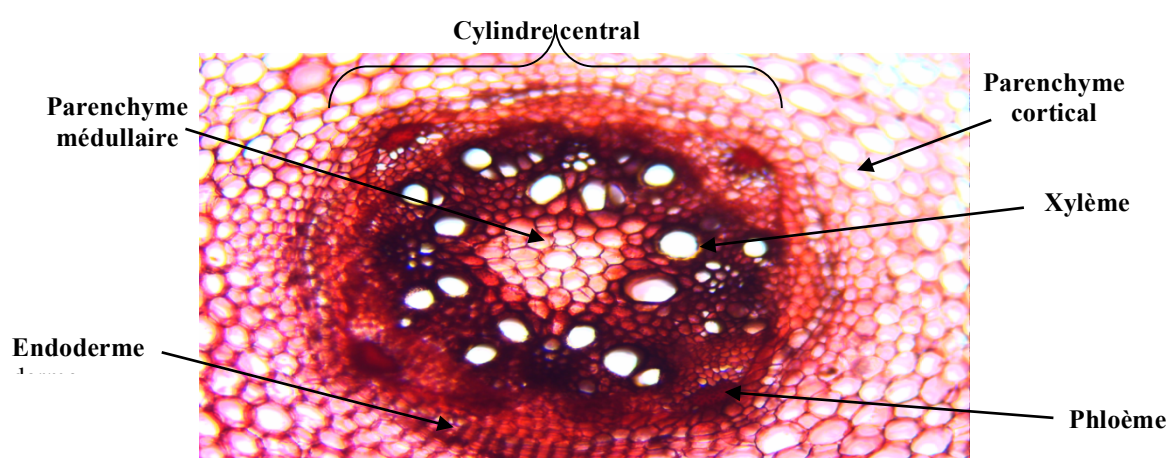


Figure 39. Coupe transversale d'une Racine de *Phaseolus vulgaris* L. (X10).

Sur une racine en coupe transversale de la racine, on distingue deux zones :

- **L'écorce**, distincte de ce que l'on appelle également l'écorce , cette partie est constituée du rhizoderme (l'épiderme de la racine) qui porte les poils absorbants puis une assise subéreuse, lorsque la racine vieillit, et du parenchyme cortical, qui assure le transport des éléments absorbés jusqu'au centre de la racine pour leur transport à travers toute la plante. La dernière couche de cellules du parenchyme est épaissie et forme une sorte de barrière de contrôle des molécules circulant dans la racine, c'est l'endoderme (fig. 39).
- **Le cylindre central** où se trouvent les tissus de transport de la sève et qui est composé du péricycle, une couche de cellules à partir de laquelle vont se former les ramifications de la racine. Viennent ensuite les deux types de tissus conducteurs, le xylème qui conduit la sève brute vers les feuilles et le phloème qui redistribue la sève élaborée dans toute la plante. Enfin, au centre le parenchyme médullaire qui, s'il n'a pas un rôle de stockage a seulement une fonction de remplissage.(fig. 39).

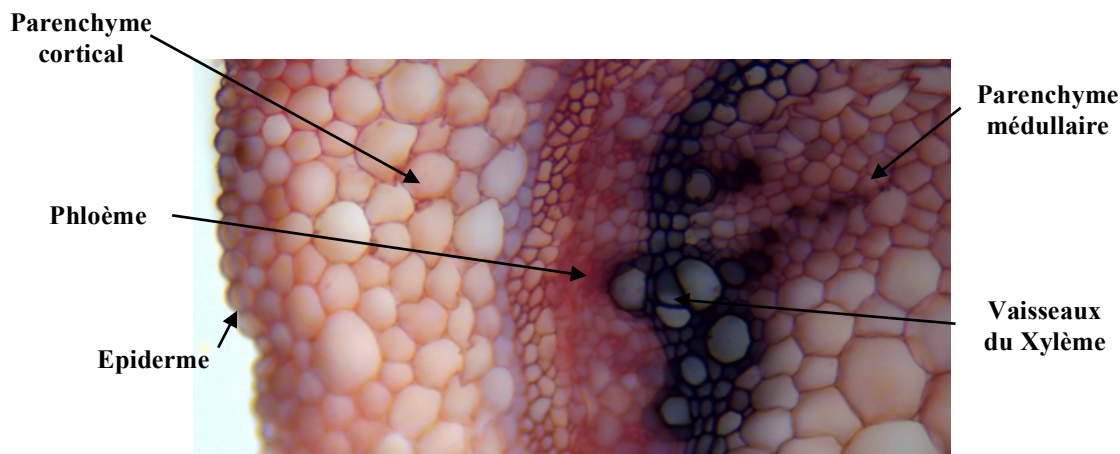


Figure 40. Coupe transversale d'une Tige de *Phaseolus vulgaris* L. (X10).

En coupe anatomique, la tige se distingue par deux parties : l'écorce (parenchyme cortical) et le cylindre central. Dans une tige de dicotylédone, les tissus conducteurs de sève sont disposés sur un seul cercle regroupant des structures élémentaires appelées faisceaux cribro-vasculaires ou libéroligneux (fig. 40). Ces derniers regroupent le phloème primaire et le xylème primaire séparés par le cambium, couche de cellules non différenciées ou embryonnaires dont le fonctionnement est bloqué. Elles ne reprendront leur activité que durant l'élaboration des structures secondaires (fig. 40).

L'interprétation des données en photos a concerné uniquement les racines et les tiges stressées sans l'apport de la bentonite. Alors que ceux stressées en présence de celle-ci, l'analyse des résultats s'est basé sur les données apportées sous formes d'histogramme (fig. 48, 49 et 50). Néanmoins, la salinité appliquée a provoqué une augmentation significative des teneurs en sodium dans les deux organes de la plante et en absence de la bentonite.

2.1. Variation du diamètre du xylème racinaire et caulinaire (μm) des plantes stressées à la salinité ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$) sans l'utilisation de la Bentonite

2.1.1. Réponse du xylème racinaire

L'analyse des données obtenues montre l'existence d'une influence de la salinité sur la variation du diamètre des vaisseaux du xylème racinaire. En effet ; lorsqu'il s'agit des plantes témoins, les observations relevées au 21^{ème} jours de croissance (fig. 41a) ; le diamètre du xylème a atteint 27.03 μm ; au bout du 21^{ème} jours (fig. 41b) ce paramètre évolue sensiblement puisque sa valeur avoisine les 27.15 μm . Les mesures effectuées sur les échantillons poussant sur le sol jours de SLK (fig. 41a) montrent que le diamètre du xylème baisse significativement par rapport

à celui de BMR (27.15 μm contre 23.01 μm) (tableau 17). Cependant les plantules poussant sur le sol d'ACH affichent un diamètre proche de celui du BMR (26.0 μm) (Annexe 01).

Tableau 17. Test de signification de Fisher ($P = 5\%$) du diamètre (μm) des vaisseaux du xylème racinaire au cours du développement des plantes de l'haricot sous le stress au NaCl + CaCl₂ sans bentonite pendant 21 jours.

Stations	Diamètre des vaisseaux du xylème racinaire (en μm)				
	Témoin	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹	m+ σ
BMR	27.15±1.47	17.65±3.45	13.42±5.70	08.83±2.33	16.76±3.98
SLK	23.01±2.11	19.15±1.05	09.58±1.88	07.38±1.67	14.78±1.67
ACH	26.31±2.16	20.83±2.34	19.08±2.67	16.37±2.75	20.64±2.48

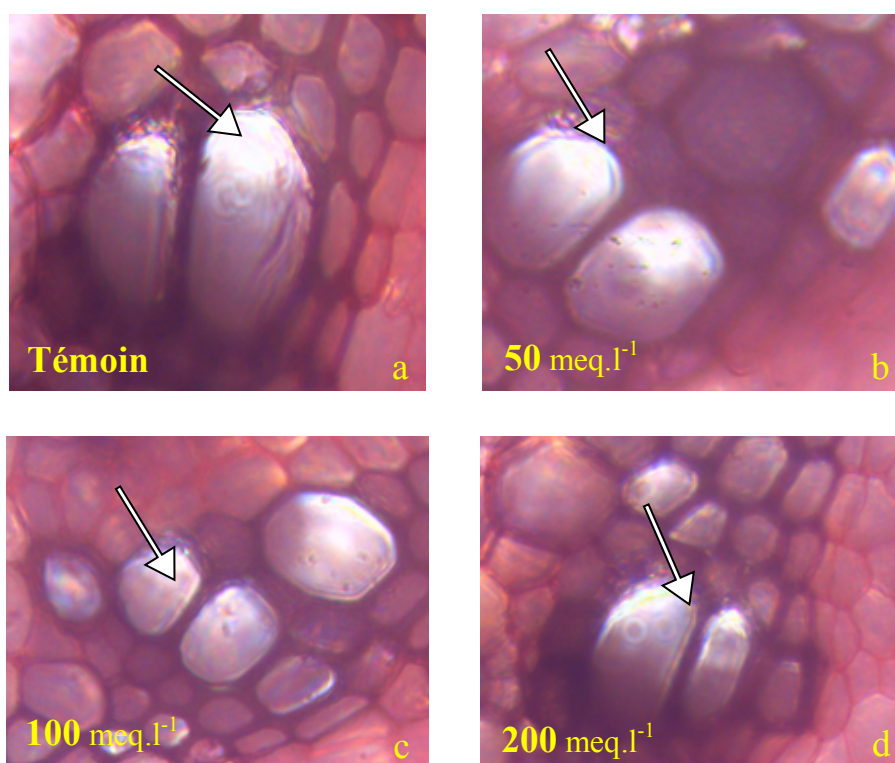


Figure 41. Anatomie des racines des (*Phaseolus vulgaris* L.). Agée de 21 jours (Station BMR). Les flèches indiquent les vaisseaux du xylème (X40).

Les plantes traitées à 100 meq.l⁻¹ de NaCl + CaCl₂ présentent ; après deux semaines de stress ; un diamètre très réduit comparativement aux plantes témoins. Au 21^{ème} jour ; ce diamètre enregistre une nette régression et atteindre 13.42 μm . Cette valeur ; comparé à celle

obtenue chez les plantes témoins 27.15 μm . Cette valeur ; comparée à celle obtenue chez les plantes témoins et au même stade de croissance ; représente 50%.

A 200 meq.l^{-1} de $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$; le diamètre des vaisseaux du xylème chez les jeunes plantules continue à se rétrécir considérablement pour atteindre un diamètre de 08.83 μm (fig. 41d).

Chez les plantules poussant sur le sol de SLK, comparées au témoin non traité par le sel, le diamètre des vaisseaux des plantules traitées au $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ varie selon les concentrations (fig. 42). En effet, si la capacité d'adaptation au stress de 50 meq.l^{-1} de $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ reste comparable à celle des témoins, au contraire celles traitées à 100 et 200 meq.l^{-1} de $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ est significativement différentes des témoins (09.58 et 07.38 μm) (Annexe 01).

Aussi une forte concentration en chlorure de sodium peut entrainer l'accumulation des ions de Na^+ et Cl dans les cellules parenchymateuses, et contribue ainsi à l'altération des voies du transport de la sève brute voir même à la réduction du nombre des éléments du xylème (fig. 42).

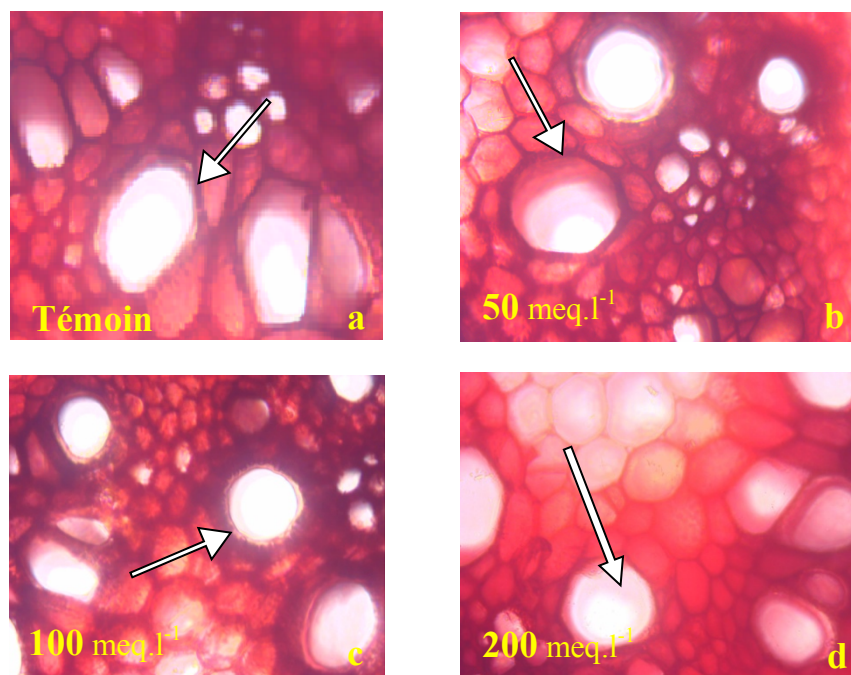


Figure 42. Anatomie des racines des (*Phaseolus vulgaris* L.). Agée de 21 jours (Station SLK). Les flèches indiquent les vaisseaux du xylème (X40).

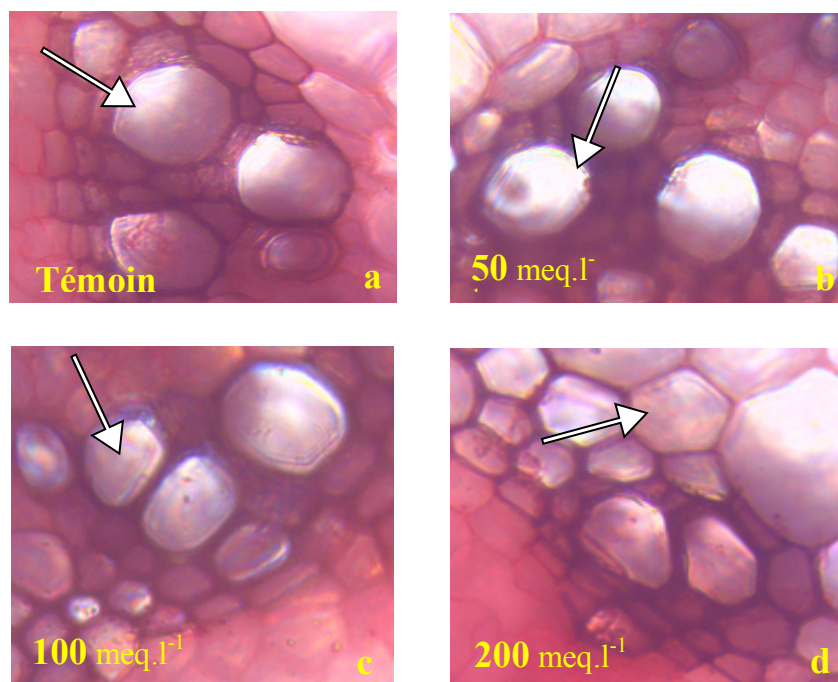


Figure 43. Anatomie des racines (*Phaseolus vulgaris* L.). Agée de 21 jours (Station ACH). Les flèches indiquent les vaisseaux du xylème (X40).

Les plantules soumises à des niveaux élevés de salinité (100 et 200 meq.l⁻¹) ont un diamètre du xylème nettement plus réduit que celui des plantules développées à faible concentration en NaCl + CaCl₂. De même pour le xylème, nous avons remarqué qu'avec l'augmentation de la salinité, il y avait une diminution du nombre des cellules par faisceaux.

De plus, en présence de sel à des concentrations de 100 et 150 meq.l⁻¹, nous notons qu'il y a une absence ou tout au moins un retard dans la mise en place des tissus vasculaires secondaires.

D'autre part, les concentrations élevées de salinité agissent négativement sur la croissance en longueur des plantules et réduit aussi bien la taille que la densité des poils absorbants. La salinité modifie la structure anatomique de la racine et conduit à une diminution du nombre des cellules par faisceau du xylème et du nombre d'assises du parenchyme cortical (Haouala et al., 2007).

Chez les plantules poussant sur le sol d'ACH, comparées au témoin, le diamètre des vaisseaux des plantules traitées au NaCl + CaCl₂ varie selon les concentrations (fig. 43). En effet, si la capacité d'adaptation au stress de 50 et 100 meq.l⁻¹ NaCl + CaCl₂ reste très proches respectivement 20.83 et 19.08 µm, au contraire celles traitées à 200 meq.l⁻¹ de NaCl + CaCl₂ est significativement différentes des témoins (16.37 contre 26.31 µm) (Annexe 01).

La nature du sol d'ACH semble assurée aux plantules une certaine résistance puisque les résultats obtenus affichent des diamètres nettement supérieurs que ceux obtenus avec le sol de SLK et BMR (tableau 17).

2.1.2. Réponse du xylème caulinaire

Chez les plantes témoins ; le diamètre des vaisseaux du xylème caulinaire des jeunes plantes donne des valeurs significativement élevées. Par contre la salinité a influé sur le diamètre puisqu'une réduction est enregistrée par rapport aux tiges des plantes témoins arrosées à la solution nutritive.

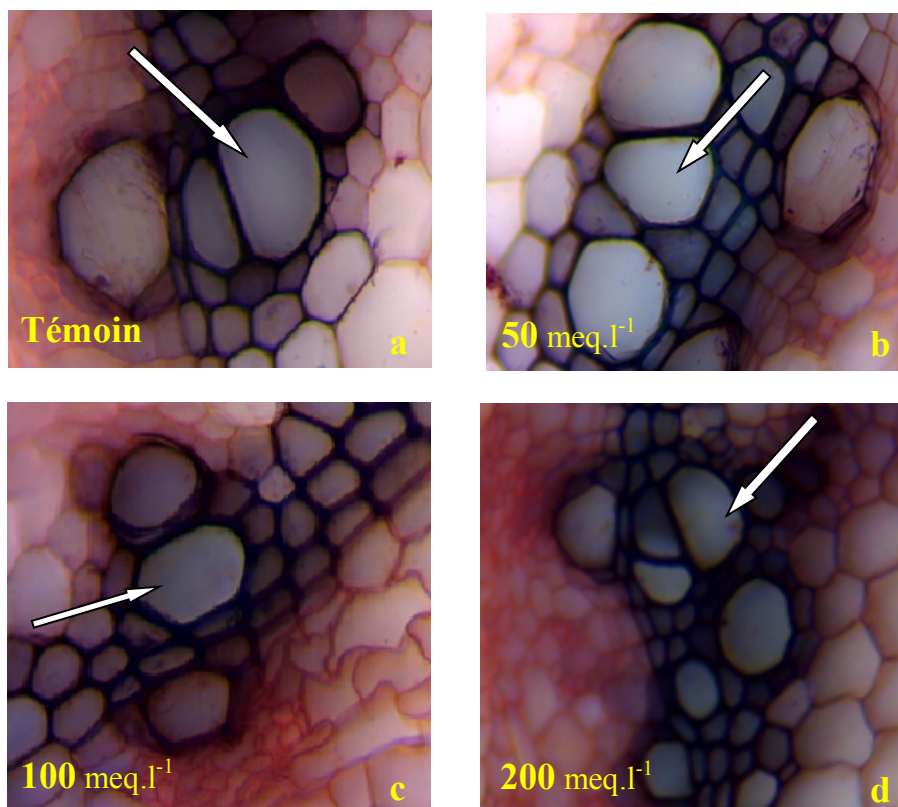


Figure 44. Anatomie des tiges de (*Phaseolus vulgaris* L.). Agée de 21 jours (Station BMR). Les flèches indiquent les vaisseaux du xylème (X40).

L'anatomie des tiges nous offre elle aussi des modifications structurales au niveau des éléments du xylème. Chez les témoins et les plantules stressées à $50 \text{ meq.l}^{-1} \text{ NaCl} + \text{CaCl}_2$, le diamètre des cellules xylémiennes avoisine les $20 \mu\text{m}$ (tableau 18).

Tableau 18. Test de signification de Fisher (P=5%) du diamètre (μm) des vaisseaux du xylème caulinare au cours du développement des plantes de l'haricot sous le stress au NaCl + CaCl₂ sans bentonite pendant 21 jours.

Stations	Diamètre des vaisseaux du xylème caulinare (en μm)				
	Témoin	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹	m+ σ
BMR	20.95±1.87	18.50±1.37	13.53±3.88	08.87±1.90	15.46±2.25
SLK	23.11±1.77	20.93±2.13	16.47±2.15	10.11±2.06	17.65±2.02
ACH	22.07±3.07	19.87±1.37	18.27±2.12	14.47±2.03	18.67±2.14

Au 21^{ème} jour de développement ; le diamètre mesuré sur les vaisseaux du xylème représente 20.95 μm micro pour la station BMR ; 23.11 μm pour la station SLK et 22.11 μm pour la station ACH. Les mensurations réalisées sur les cellules du xylème caulinare à 100 meq.l⁻¹ donnent un diamètre de 13. 53 μm ; 16.47 μm et 18.27 μm respectivement pour les trois stations (fig. 44).

Chez les plantes traitées à 200 meq.l⁻¹ de NaCl + CaCl₂ et après 21 jours de stress, le diamètre des vaisseaux du xylème accuse des valeurs réduites par rapport à celles des témoins (08.87 μm pour BMR , 10.11 μm pour SLK et 14.47 μm (Annexe 01) pour ACH). De même pour le xylème, nous avons remarqué qu'avec l'augmentation de la salinité, il y avait une diminution du nombre des cellules par faisceaux ainsi que le diamètre des cellules. De plus, en présence de sel et à des concentrations de 100 et 200 nous enregistrons pour les plantules poussant sur le sol de la station d'ACH qu'il y a eu meq.l⁻¹ de NaCl + CaCl₂ une légère sensibilité au stress de la salinité.

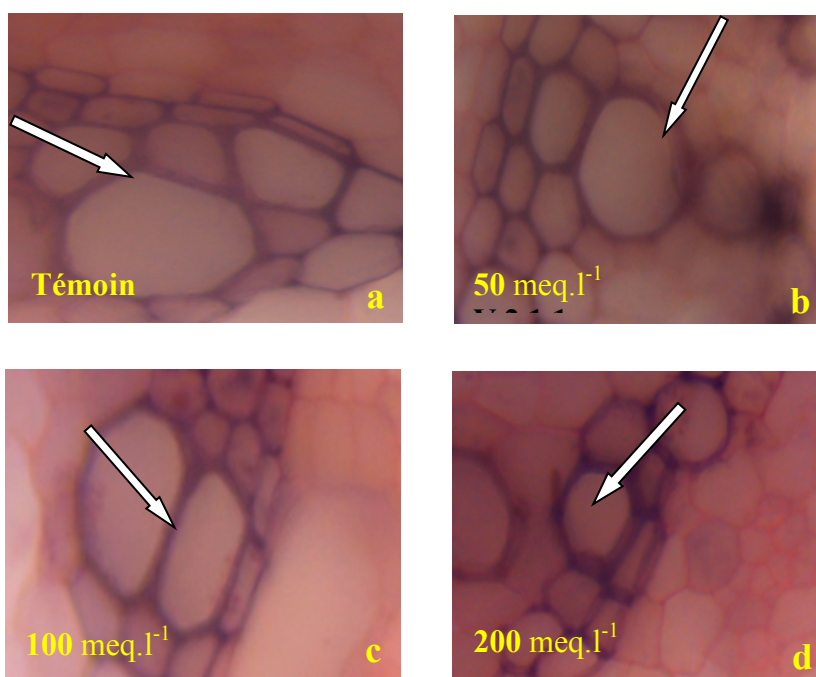


Figure 45. Anatomie des tiges de (*Phaseolus vulgaris* L.). Agée de 21 jours (Station SLK). Les flèches indiquent les vaisseaux du xylème (X40).

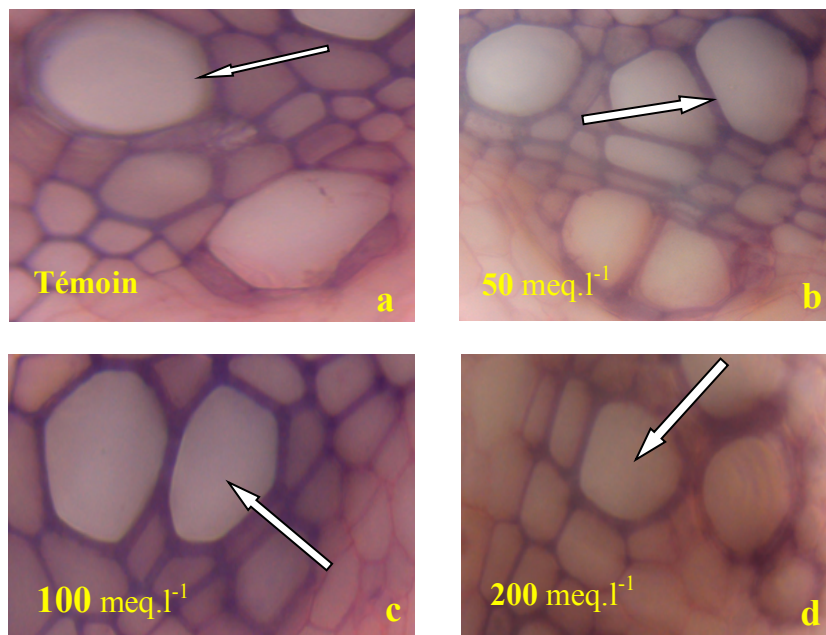


Figure 46. Anatomie des tiges de (*Phaseolus vulgaris* L.). Agée de 21 jours (Station ACH). Les flèches indiquent les vaisseaux du xylème (X40)

2.2. Variation du diamètre du xylème racinaire et caulinaire (μm) des plantes stressées à la salinité ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$) avec l'utilisation de la bentonite

L'examen microscopique des coupes transversales réalisées dans la région médiane des racines, après coloration (Vert de méthyle/rouge Congo, montre que les modifications structurales des vaisseaux du xylème varient selon le mode de traitement apporté aux plantules de *Phaseolus vulgaris* L. ainsi que la nature de sol amendé en bentonite.

Les racines représentent de légères modifications structurales au niveau du tissu du xylème ; aux fortes concentrations de sels (200 meq.l^{-1} de $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$), les cellules du xylème présentent une légère réduction dans leur diamètre , ainsi que les épaississement pariétal.

Les résultats obtenus montrent que quelque soit le traitement apporté ; la racine présentée de gros vaisseaux comparativement à la tige. Ce comportement de la racine peut s'expliqué comme un mode d'adapter aux environnements salins.

Au niveau des tiges ; les résultats montrent bien l'action du sel et la présence de la bentonite sur le tissu conducteur comparés aux témoins (fig. 47, 48 et 49).

Au fort grossissement ; les mêmes tiges illustres nettement et considérablement un relâchement dans l'ajoncement de leur conducteur et notamment de leurs tissu le xylème.

Cette réaction se traduit par une réduction dans le nombre des gros vaisseaux et l'épaississement de leurs parois et ceci suivant le traitement apporté.

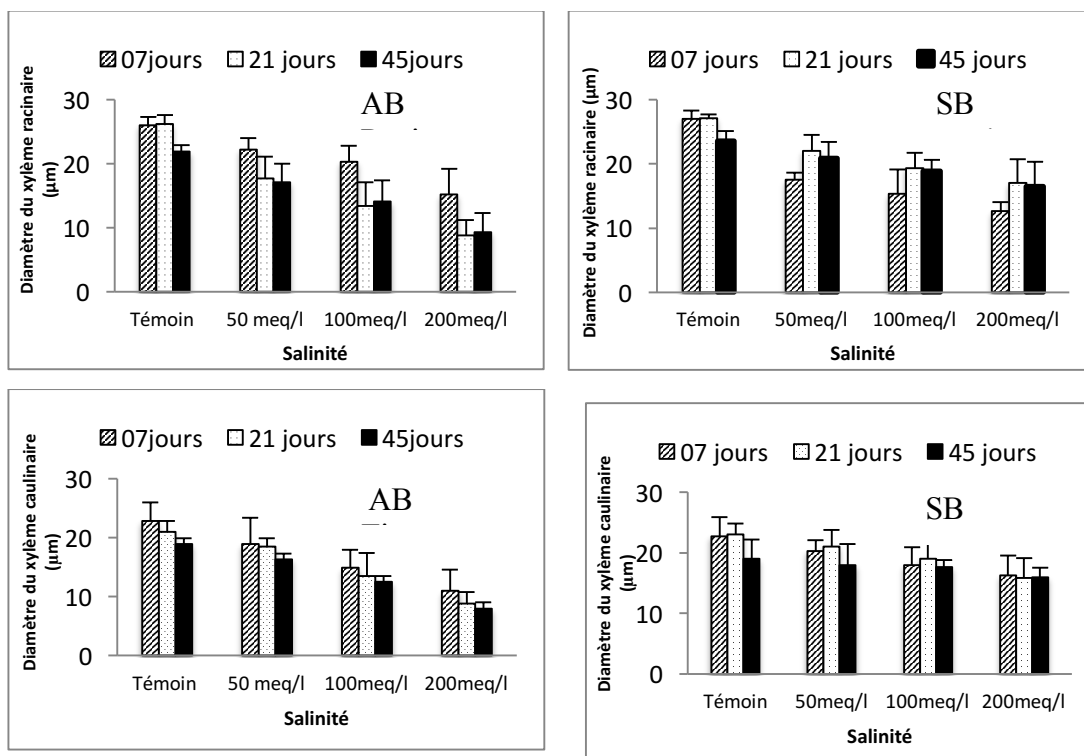


Figure 47. Variation du diamètre du xylème racinaire et caulinaire : station Ben Abdelmalek Ramdane (BAR).
AB : Avec Bentonite, **SB** : Sans Bentonite.

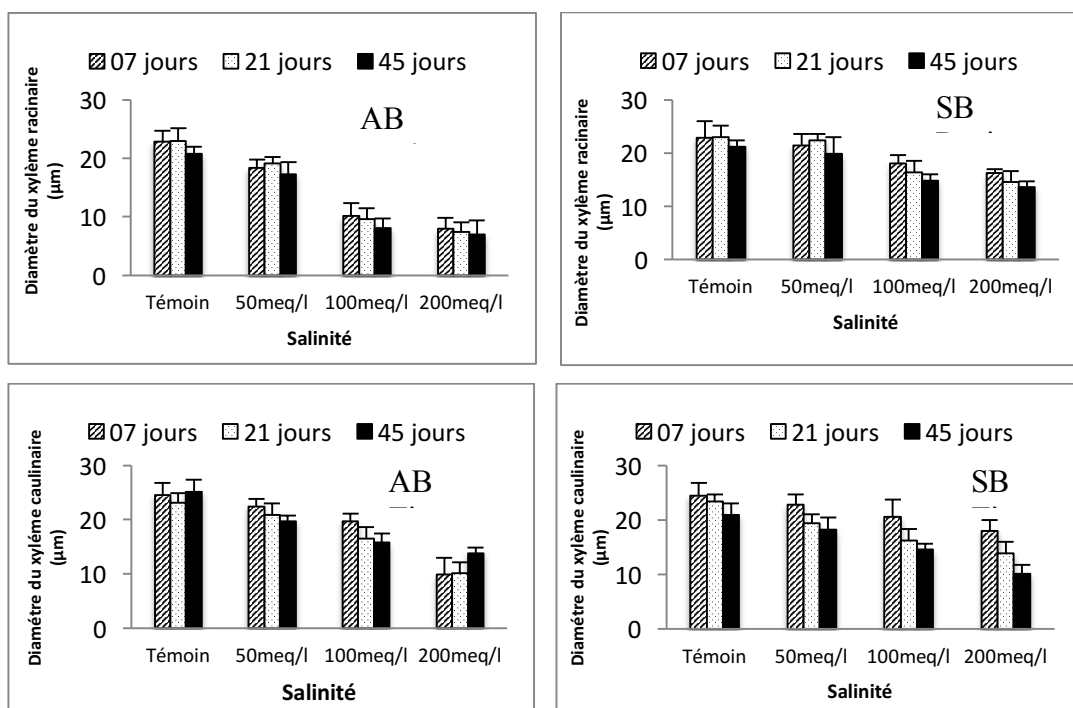


Figure 48. Variation du diamètre du xylème racinaire et caulinaire : station Sidi Lakhdar (SLK).
AB : Avec Bentonite, **SB** : Sans Bentonite.

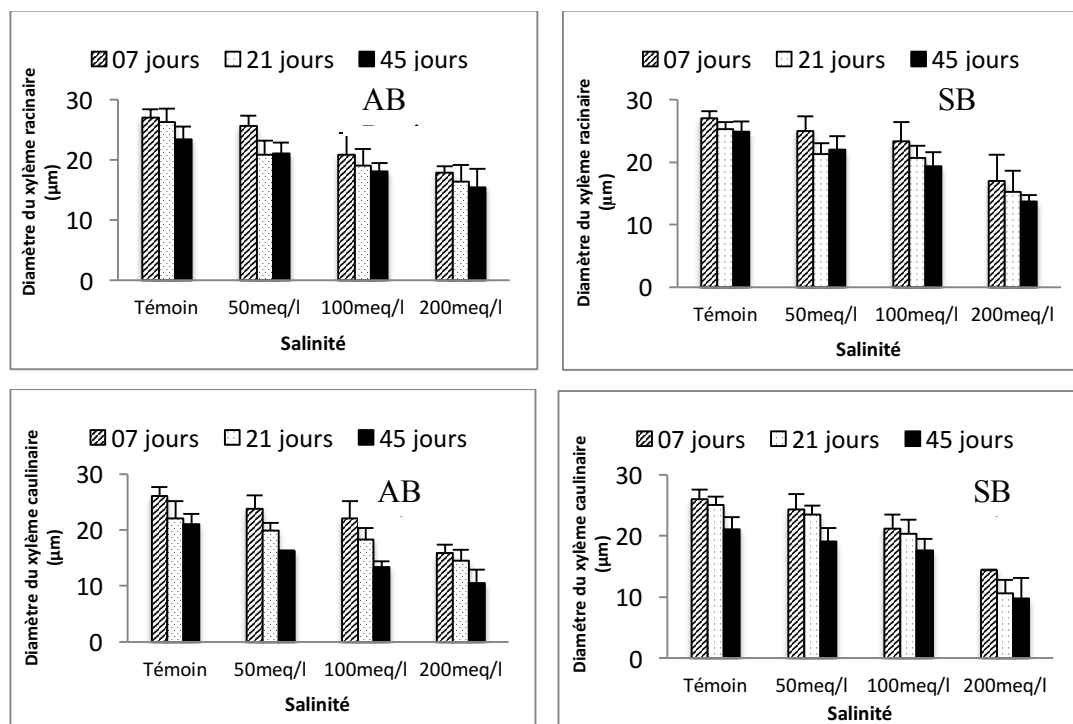


Figure 49. Variation du diamètre du xylème racinaire et caulinaire : station Achaacha (ACH).
AB : Avec Bentonite, **SB** : Sans Bentonite.

2.3. Analyse par ACP des relations du diamètre du xylème sous stress salin.

2.3.1. Xylème racinaire

L'analyse des trajectoires appliquées à l'étude du comportement d'un tissu conducteur comme le xylème a été adoptée. Cela concerne l'analyse des modifications anatomiques au niveau du xylème racinaire sous différents traitements et en fonction du temps. Parmi un vaste éventail de techniques disponibles, cette étude traite d'une méthode linéaire généralisant l'analyse en composantes principales (ou ACP) (fig. 50). Il s'agit d'une méthode factorielle dont le but est de construire de nouvelles variables artificielles (appelées Composantes Principales ou CP) permettant de visualiser les relations existantes entre les variables.

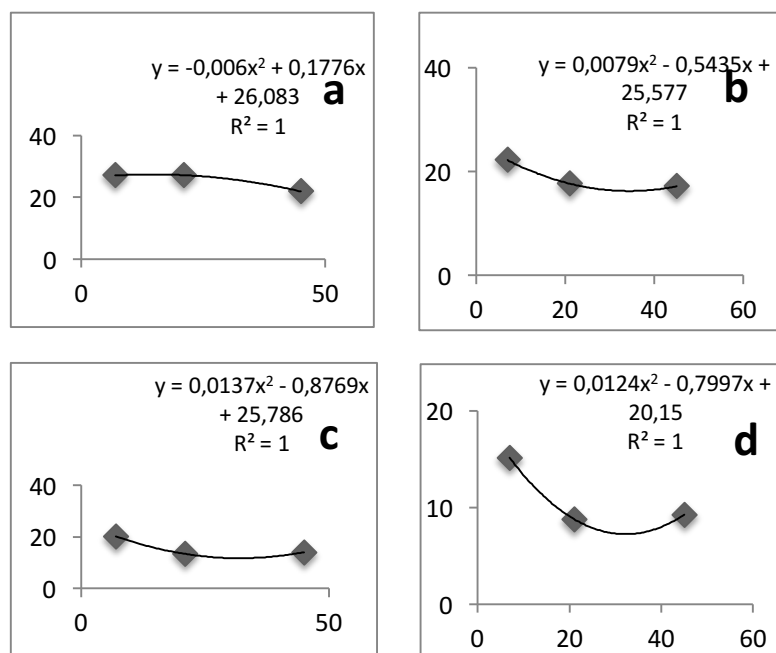


Figure 50. Représentation graphique des variations des diamètres du xylème racinaire sous les différents traitements salins sans bentonite (a : Témoin ; b : BAR ; c : SLK ; d : ACH).

Les données acquises sont issues des différents diamètres enregistrés chez les plantules stressées à la salinité 7, 21 et 45 jours.

Les représentations vectorielles dans la base des CP restent invariantes. Cependant ; la nature temporelle des données implique que l'on doit tenir compte de l'ordre des instants. Malgré le peu d'application trouvée dans la littérature, la covariance relationnelle apporte un intérêt pour l'étude du comportement anatomique des tissus.

L'idée est de construire un graphe de voisinage de manière à tenir compte la succession des instants dans le temps. En effet, les connexions de ce graphe ne vont concerner uniquement que les instants voisins. L'ACP classique peut être vu comme un cas particulier de l'ACP relationnelle ou l'ensemble des observations sont toutes connectées entre elles. L'ACP trouve de nombreuses applications en analyses de trajectoires en biologie Moléculaire et en autre disciplines.

L'analyse par ACP des vaisseaux du xylème racinaire révèle que le flux à travers les tissus de la racine est horizontal à partir des poils absorbants d'abord ; ensuite par la poussée radiculaire ; la sève brute une fois arrivée au niveau des vaisseaux xylème ; elle se voit éjectées vers les feuilles via la tige.

Les réductions opérées au niveau du xylème racinaire sont enregistrées et représentées en courbes concaves. Pour les témoins arrosés à la solution nutritive, les diamètres des vaisseaux ne sont pas affectés et que pour les valeurs négatives trouvées cela indique que X^2

reflète une rétrodiffusion des solutés c'est-à-dire un retour des sels absorbés des feuilles vers les racines (fig. 50a).

Part contre pour les courbes représentatives des racines stressées ; les valeurs retrouvées indiquent une cinétique d'ordre 1.

La variance principale dans ce cas de figure ; est représentée par le diamètre et qu'on assiste la à un phénomène d'absorption lié au micro précipitations provoquée par les tiges (fig. 50b, c et d). La valeur R^2 est égale à 1 chez les racines témoins et traités à 100 meq.l⁻¹ de NaCl + CaCl₂ ; mais l'indice X^2 restes négatifs. Chez les racines stressées à 200 meq.l⁻¹ de NaCl + CaCl₂ , la valeur R^2 est égale à 0.99. Cette covariance entre des racines d'une même espèce indique les modifications dans le sens de la réduction des vaisseaux du xylème racinaire suite à un stress modéré ou élevé.

2.3.2. Xylème caulinaire

Les corrélations analysées par la méthode d'extraction et de rotation montrent les points communs entre les covariances testées sur la réduction des diamètres des vaisseaux du xylème en fonction du temps et de la salinité.

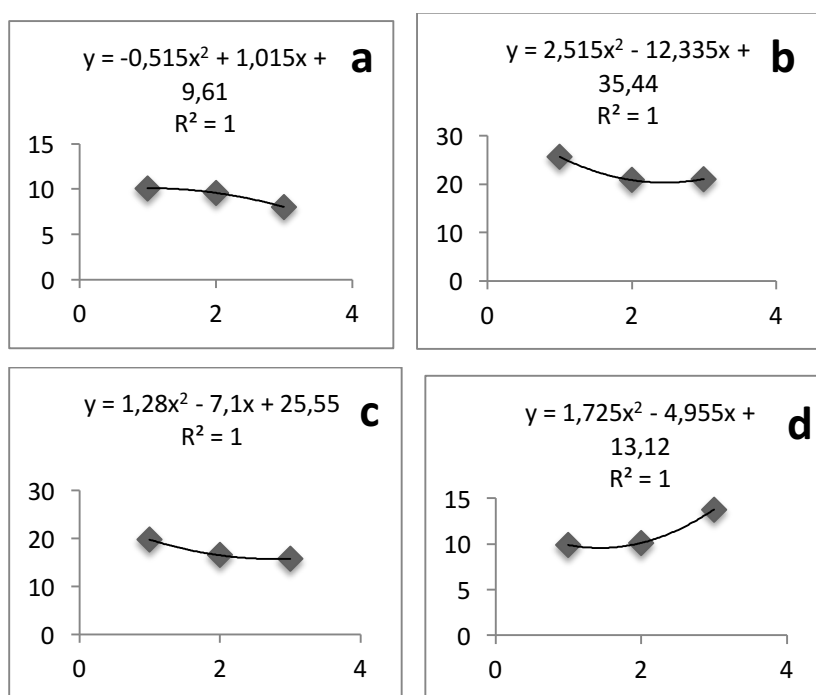


Figure 51. Représentation graphique des variations des diamètres du xylème caulinaire sous les différents traitements salins sans bentonite (a : Témoin ; b : BAR ; c : SLK ; d : ACH)

L'analyse en composantes principales (ACP) en se basant sur l'information donnée par la projection des points des variables correspondant aux paramètres de la croissance des

vaisseaux du xylème caulinaire et ceux de la salinité correspondant aux différentes concentrations en sel ($\text{NaCl}_2 + \text{CaCl}_2$) sur l'axe factoriel nous a permis de distinguer, selon les résultats trois groupes distincts (fig. 51) le premier regroupe les paramètres diamètre du xylème en μm . Le second groupe représente la forte corrélation des paramètres faible, moyenne et forte concentration en sel. Le troisième groupe reflète les corrélations entre le temps d'exposition, la présence ou non de la bentonite dans le milieu de culture, du quel nous pouvons déduire l'effet négatif du stress salin sur le comportement des plantules qui se traduit par la réduction du diamètre du xylème. En présence de la bentonite, les plantules de *Phaseolus vulgaris* L. semblent être moins affectées par le sel.

Discussion

L'analyse des résultats obtenus sur le comportement morphologique et anatomique des plantules soumises à un stress salin fait ressortir plusieurs faits intéressants. Il s'agit d'abord de la résistance relative de l'espèce au stress de la salinité progressive (50,100 et 200 meq.l^{-1} de $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ traduite par les paramètres anatomiques pris en considération (diamètre des vaisseaux du xylème racinaire et caulinaire) et les caractéristiques édaphiques à savoir la présente ou l'absence de la bentonite dans le sol.

La réduction des diamètres du xylème racinaire et caulinaire au cours des premières phases de la croissance s'affiche nettement chez les plantules stressées par rapport aux témoins, il y aurait une réaction de rétablissement par rétrécissement des parois des vaisseaux conducteurs à cause du stress salin (Zhu, 2002).

Cette réaction de compensation était de courte durée car les plantules n'ont pas parvenue à prolonger leur résistance, le stress de la salinité le plus sévère (200 meq.l^{-1}) s'est avéré plus néfaste pour leur croissance bien que la présence de la bentonite couvre légèrement l'action du sel.

Le sel provoque un dysfonctionnement général du métabolisme traduit par une inhibition du processus de la photosynthèse (Soltani *et al.*, 1990) par dérèglement de l'appareil photosynthétique et la réduction de l'assimilation du dioxyde de carbone, par une inhibition des métabolismes nucléique, protéique, glucidique et azoté. De nombreuses études rapportent que l'activité nitrate réductase est particulièrement affectée chez les plantes soumises au stress de la salinité (Gouia *et al.*, 1994).

En effet, sous contrainte saline, un développement tardif favorise l'accumulation d'ions toxiques pouvant entraîner la mort des plantes avant la fin de leur cycle de développement (Munns, 2002 ; Maaouia-Houimli *et al.*, 2008). La tolérance au sel peut donc être évaluée par

la précocité de la germination. La réponse au sel des espèces végétales dépend de plusieurs variables, commençant par l'espèce même, de sa variété, aussi de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante (Bennaceur *et al.*, 2001 ; Alaoui *et al.*, 2013). L'identification des variétés et des génotypes tolérants aux sels, capables de minimiser les effets dépressifs de la salinité sur les rendements, permettrait certainement d'améliorer la production agricole des zones touchées par la salinité.

L'adaptation des plantes au stress salin s'accompagne par des changements morphologiques ; anatomiques et biochimiques (Kylin, 1975 ; Poljakoff, 1975 ; Brugnoli et lauteri, 1991).

Chez les non-Halophytes, il y'a une grande variabilité des réponses des espèces sensibles ou tolérantes au stress salin tout on se basant sur la composition lipidique des racines (Greeway, 1980). L'effet de la salinité sur la composition lipidique des racines a été étudié chez différentes espèces, y compris le raisin ; l'haricot et le plantago (Erdei *et al.*, 1980). Cependant, le mécanisme d'adaptation des plantes à la salinité n'est pas complètement connu.

Le calcium joue un rôle crucial dans le processus métabolique des plantes (Hepler, 1985 ; Johannes *et al.*, 1991 ; Flowers, 2004) et dans la stabilisation des membranes cellulaires. Le calcium est connu pour avoir un effet améliorant vis-à-vis du stress sur la croissance des plantes (hyder et Greenway, 1965 ; Deo et Kanwer, 1969 ; La haye et Epstein, 1970). De plus les effets du calcium peuvent être plus important que ceux du sel de sodium (Aceves *et al.*, 1975).

Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient en fonction du type de salinité, de la concentration du sel, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (Levigneron *et al.*, 1995). Les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, caractérisé par la faible ramification, le faible diamètre des organes, le nombre réduit des nœuds et les réductions du nombre de feuilles et de la longueur de la tige et par conséquent l'augmentation du rapport racine/tige.

Une baisse des poids de matières fraîches et sèches est aussi démontrée (Rush et Epstein, 1981). Cette inhibition de la croissance des plantes se fait selon trois manières principales : par une toxicité ionique (surtout de Na⁺ et Cl⁻), un stress osmotique et une perturbation nutritionnelle (Greenway et Munns, 1980 ; Levigneron *et al.*, 1995).

Une réduction de la croissance de la partie aérienne est la première réponse observée des glycophytes à l'augmentation de la salinité au niveau des racines. Il s'agit de l'effet destructif

le plus significatif en cas d'une exposition prolongée à la salinité. Il s'est avéré aussi que les feuilles sont les tissus les plus sensibles de la plante à une salinité excessive, par contre la croissance des racines s'en trouve faiblement affectée (Benmahioul *et al.*, 2009).

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

Néanmoins, cette inhibition est généralement moins marquée que celle des parties aériennes. C'est ainsi qu'une concentration élevée de sodium (Na^+) et des chlorures (Cl^-) peut être toxique aux plantes et inhibent leur croissance (Greenway et Munns, 1980).

D'après nos résultats, la salinité a réduit la croissance des parties aériennes et souterraine de l'haricot.

Des résultats similaires ont été rapportés par Dubey (1994). La réduction de la croissance peut être aussi liée à des perturbations des taux de régulateurs de croissance (acide abscissique et cytokinines) induites par le sel (Smith *et al.*, 1985). De même, l'adaptation des plantes aux stress abiotiques a souvent été associée à des changements biochimiques au niveau de la plante par exemple l'accumulation des sucres soluble.

D'après nos résultats, la tolérance des plantules de *Phaseolus vulgaris* L. a été associée à une accumulation des sucres solubles et de la proline. La proline n'agit pas uniquement comme un osmolyte mais elle pourrait aussi intervenir pour surmonter le stress oxydatif induit par la salinité (Rajendrakumar *et al.*, 1994).

D'autres osmolytes importants comme les sucres solubles, pourraient contribuer avec plus de 50% de l'ajustement osmotique des glycophytes soumises aux conditions de salinité (Ashraf et Bashir, 2003).

Cet effet néfaste se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affecte négativement la croissance et la productivité végétale (Wang *et al.*, 2001).

Une des stratégies permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique (Blumwald *et al.*, 2000 ; Munns, 2005). La régulation qualitative et quantitative du transport des ions permet de maintenir la concentration ionique dans une gamme de valeurs compatibles avec un métabolisme cellulaire normal. L'exclusion commence avec la sélectivité de la membrane racinaire, ce qui peut résulter d'une réduction de la perméabilité passive, de la

présence de transporteurs sélectifs et d'un transport vers le milieu extérieur des ions déjà absorbés (Apse et Blumwald, 2002).

Tous ces mécanismes ne sont pas exclusifs, et la résistance des plantes dépend souvent d'une série de mécanismes potentiellement additifs. Ces modifications provoquent une déviation du métabolisme qui entraîne une dépense énergétique. Le facteur limitant peut être la fourniture de carbone, celle d'énergie ou la vitesse de transport des ions ; ces facteurs peuvent interférer avec la concentration en phosphore inorganique nécessaire au transfert de l'énergie (Cornillon et Palloix, 1995).

3. Action du stress salin sur la hauteur de la tige (culture hydroponie)

Les résultats obtenus sur les jeunes tiges de (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivées dans des conditions hydroponiques et sous l'influence de l'effet du stress salin sont illustrés dans le (tableau 19).

Tableau 19. Variation de longueur des tiges (cm) en fonction de différentes concentrations après 45 jours.

		Longueur des tiges (en cm)					
		NaCl		CaCl ₂		NaCl + CaCl ₂	
		100	200	100	200	100	200
Longueur (cm)	Témoin	46.66±2.3	34.33±2.3	43.33±4.9	32.±5.3	31±2	26.33±1.5
50.33±2.5							

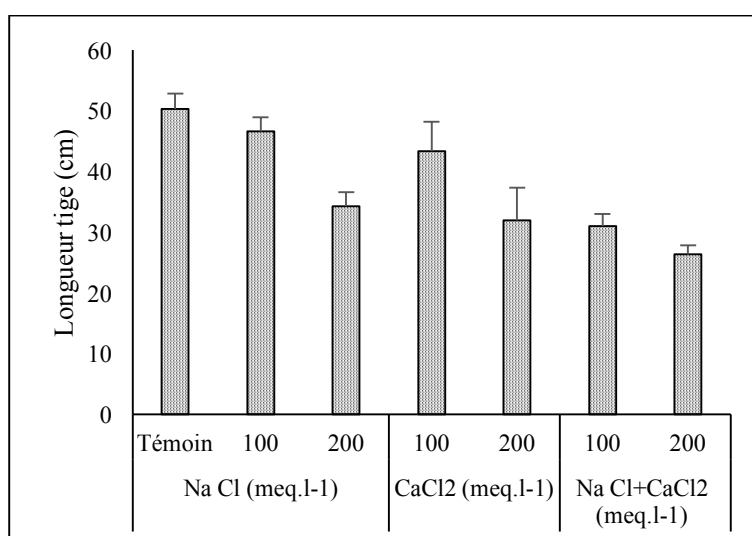


Figure 52. Variation de la longueur des tiges de l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) en fonction du stress salin.



mélange	CaCl ₂	CaCl ₂	Na Cl	Na Cl	témoin
100	200	100	100	200	
meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	

Figure 53. Effet du stress salin sur la croissance de l’haricot (hydroponie).

La figure 52 représente les valeurs moyennes de la hauteur de la tige des plantes, stressées par les différents traitements comparés au témoin. On remarque que la longueur des plantes témoins est plus importante par rapport à celles stressées. En effet, la hauteur qui est de 50,33 cm chez les plantes qui sont arrosées avec la solution nutritive, diminue à 31 et 26,33 cm chez les plantes traitées respectivement à 100 et 200 meq.l⁻¹ de NaCl + CaCl₂. Pour le lot de plantes traitées uniquement à NaCl, les hauteurs enregistrées diminuent aussi par rapport à celles des plantes témoins (50,33 cm), elle est de 46,66 cm chez les plantes traitées à 100 meq.l⁻¹, et de 34,33 cm chez les plantes traitées à 200 meq.l⁻¹. On constate que la salinité influe négativement sur la croissance des plantes. La hauteur enregistrée est presque similaire pour le traitement 100 meq.l⁻¹, par contre le traitement 200 meq.l⁻¹ de NaCl a provoqué une importante diminution. A cet effet une parfaite constation remarquable du développement des tiges plus longues à des témoins. En outre la hauteur est de l’ordre de 50,33 cm chez les plantes arrosées avec la solution Hoagland ; est qui sera diminuée de l’ordre de 32,0 cm à 34,33 cm chez les plantes traitées respectivement à 200 meq.l⁻¹ de NaCl et CaCl₂ et de l’ordre de 26,33 cm et 31,0 cm (Annexe 05) et chez les plantes traitées respectivement à 100 et 200 meq.l⁻¹ de NaCl + CaCl₂.

4. Action du stress salin sur la hauteur de la racine (culture hydroponie)

Les résultats obtenus sur les racines de (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivées dans des conditions hydroponiques et sous l'influence de l'effet du stress salin sont illustrés dans le (tableau 20).

Tableau 20. Variation de longueur des racines (cm) en fonction de différentes concentrations après 45 jours.

	Longueur des racines (en cm)						
	Témoin	Na Cl		CaCl ₂		Na Cl + CaCl ₂	
		100	200	100	200	100	200
Longueur (cm)	22.33±2.5	12±1.0	10.66±0.7	14.66±1.5	9.33±1.5	11±1.0	7.66±1.52

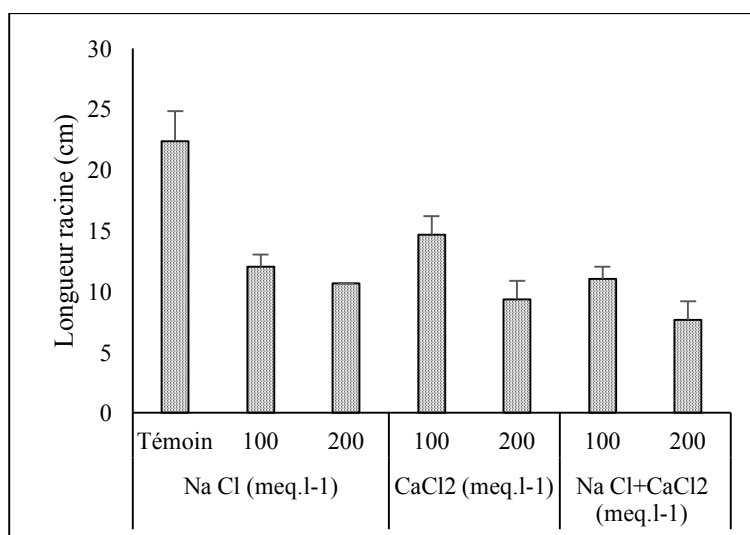


Figure 54. Variation de la longueur des racines de l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) en fonction du stress salin.

Le stress salin a entraîné une diminution significative de la croissance en longueur de la racine au niveau des traitements salins de 100 et 200 meq.l⁻¹ NaCl et CaCl₂ et (NaCl + CaCl₂) testés par rapport au témoin. Effectivement les valeurs les plus élevés de la hauteur de la racine à 100 meq.l⁻¹ de NaCl et de 12.0 cm par rapport au témoin est de 22.33 cm et de sels (NaCl + CaCl₂) on a enregistré les plus faibles valeurs de l'ordre de 07.66 cm et 11.0 cm respectivement (Annexe 05) chez les plantes stressés par 200 meq.l⁻¹ et 100 meq.l⁻¹ de (NaCl + CaCl₂) .

Les résultats montrent que les longueurs des tiges et les racines diminuent nettement à chaque fois que la salinité augmente.

L'action du sel est prévisible comparée au témoin, les traités présentent une croissance très faible au niveau des tiges et les racines, surtout pour des concentrations élevées 200 meq.l⁻¹.

Discussion

Le stress salin a pour effet secondaire la limite et le ralentissement de la croissance végétale : sur la germination ; le développement de la longueur des racines ainsi sur la hauteur des tiges ; et poids frais et secs des plantes ; par la réduction de l'activité hydrique et la toxicité ionique spécifique (sodium et chlore) et la diminution de la disponibilité en nutriments essentiels (Carpici *et al.*, 2010).

Selon (Jamil et Rha, 2004), il a été déduit que la longueur des racines et des tiges sont les paramètres les plus essentiels dans l'étude de la réponse des plantes au stress salin, du moment que les racines sont en contact direct avec le sol permettant une absorption de l'eau et les autres oligo-éléments, et leurs acheminements au reste de la plante par les tiges.

A cet effet, l'action inhibitrice causé par le stress salin est plus distincte a une concentration 200 meq.l⁻¹ de sels (NaCl + CaCl₂).

En outre la diminution de la taille de la racine est de 7.66 cm par rapport au témoins qui est de 22.33 cm et celles de la tige est réduite de 26.33 cm par rapport au témoin de 50.33 cm, en conséquence les paramètres biométriques du stress abiotiques sont responsable d'une perte considérable et lisible du rendement de la culture les plus répondus avec une estimation de 50% (Bray *et al.*, 2000 in Vincent, 2006)

Ce stress se traduisent par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance de la plante et sa productivité (Ben Naceur *et al.*, 2001 ; Semmadi et Rahmoune, 1995 ; Wang *et al.*, 2001). Pour s'adapter au stress salin, la plante peut éviter les dommages par la réduction de sa croissance (Yeo, 1983 ; Zhu, 2002. Benmahioul *et al.*, 2009). C'est l'effet le plus commun des stress abiotiques sur la physiologie des plantes .la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique.

En effet, ce retard de développement permet à la plante une accumulation de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre à l'intérieur et l'extérieur de l'organisme et augmenter jusqu'à un seuil ou les dommages seront réversible (Zhu, 2001).

5. Caractérisation anatomique des racines et des tiges de *Phaseolus vulgaris* L. en culture hydroponique.

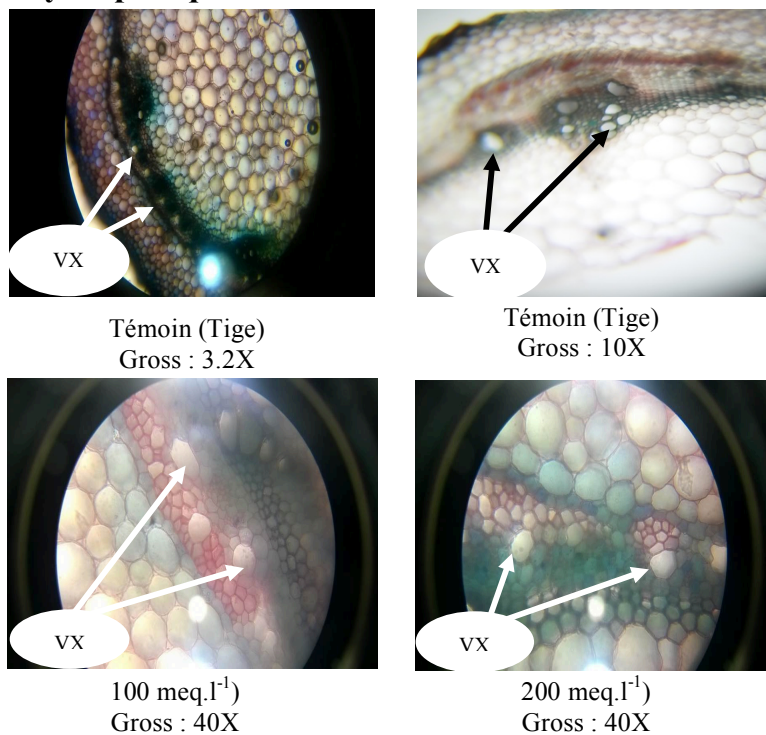


Figure 55. Anatomie microscopique de la tige de *Phaseolus vulgaris* L. âgé de 21 jours cultivées sous stress salin (NaCl) dans une culture hydroponique.

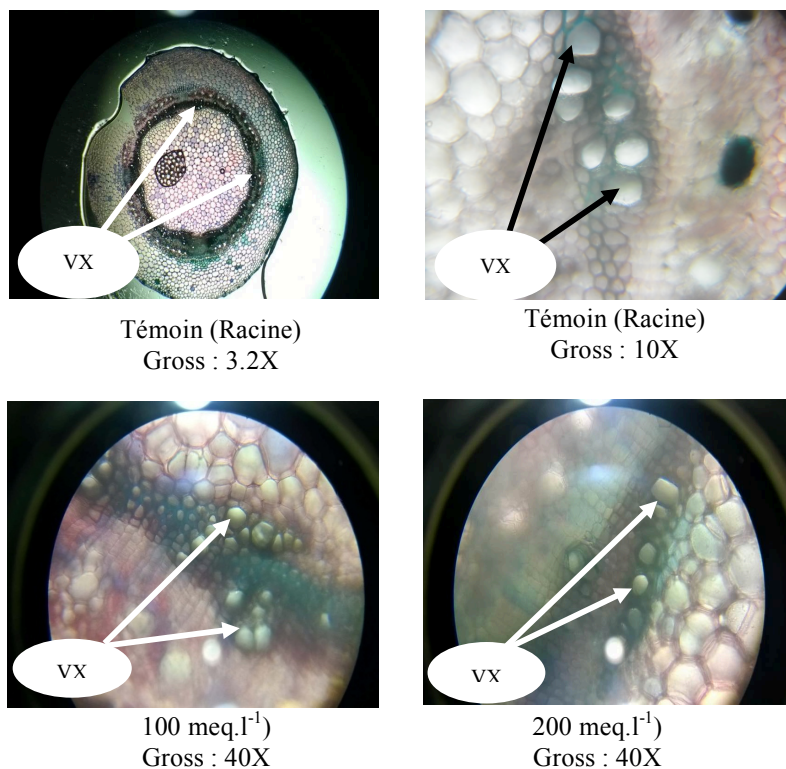


Figure 56. Anatomie microscopique de la racine de *Phaseolus vulgaris* L. âgé de 21 jours cultivées sous stress salin (NaCl) dans une culture hydroponique.

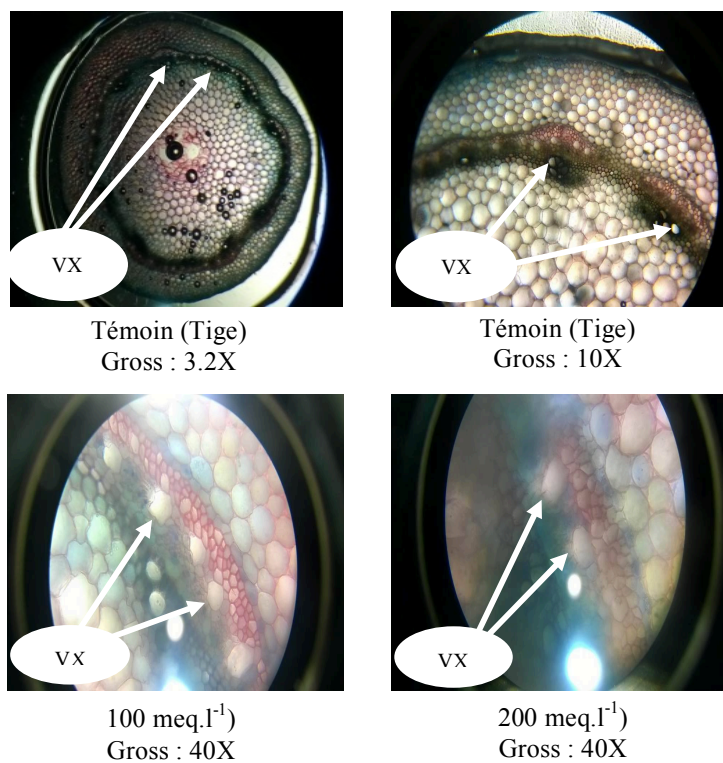


Figure 57. Anatomie microscopique de la tige de *Phseolus vulgaris* L. âgé de 21 jours cultivées sous stress salin (NaCl + CaCl₂) dans une culture hydroponique.

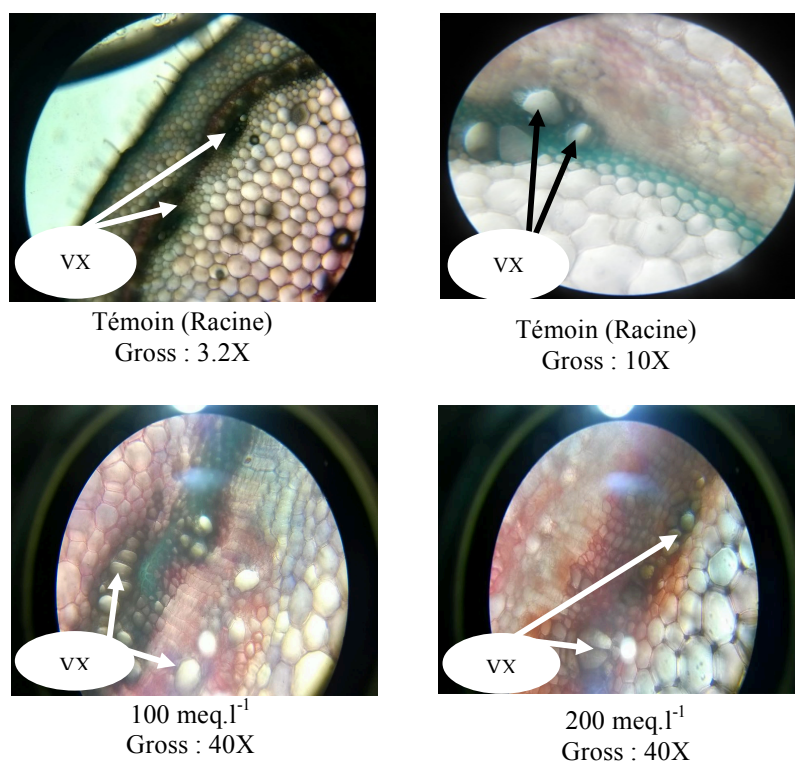


Figure 58. Anatomie microscopique de la racine de *Phaseolus vulgaris* L. âgé de 21 jours cultivées sous stress salin (NaCl + CaCl₂) dans une culture hydroponique.

Discussion

Suite l'étude expérimentale effectuée au laboratoire (Laboratoire de physiologie végétale) sur l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) en milieu physiologique on a constaté des légères modifications structurales des tissus du xylème au niveau des racines.

A une forte concentration de sels (200 meq.l^{-1}) de ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$), les cellules du xylème présentent une légère réduction dans leur diamètre, ainsi que les épaissements de leur paroi. Les cellules du xylème se montrent affectées et leurs diamètres se rétrécissent au fur et à mesure que la concentration est en croissance et beaucoup plus à 200 meq.l^{-1} de ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$).

Au niveau des tiges, les résultats montrent bien l'action du sel sur le tissu conducteur comparés aux témoins.

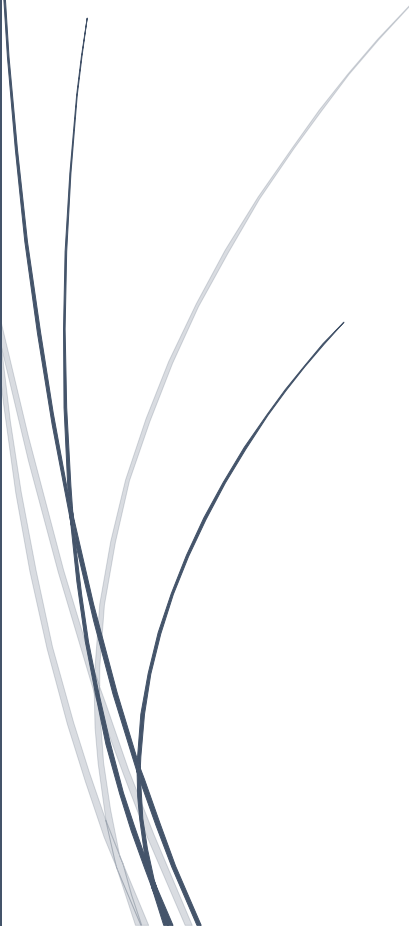
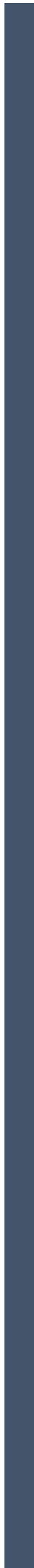
Cette réaction se traduit par une réduction dans le nombre des gros vaisseaux et l'épaississement de leurs parois et ceci suivant le traitement apporté.

Les résultats obtenus montrent que quelque soit le traitement apporté, la racine présente de gros vaisseaux comparativement à la tige. Ce comportement de la racine peut s'expliquer comme un mode d'adaptation vis à vis de la salinité.

On a remarqué aussi que dans le système hydroponique, la partie aérienne a une croissance importante que dans la culture sous-sol.

Il est conseillé dans les dernières années d'utiliser la technique de culture hydroponique pour des raisons scientifiques et économiques.

Conclusion



Conclusion générale

Au terme de notre travail qui a visé à l'étude de la tolérance de l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) à la salinité en appliquant différentes concentrations de sels combinés (NaCl + CaCl₂) et NaCl dans le but de déterminer l'effet du stress salin sur la croissance de la plante et sur quelques paramètres physicochimiques du sol, la proline, hydroponie et enfin l'anatomie adaptative des organes souterrains et aériens. Il ressort que cette espèce répond différemment aux différents stress appliqués en fonction de l'organe considérée et de la nature du stress.

A travers nos recherches et les résultats obtenus, nous avons relevé à cet effet : Une diminution de la croissance dans toutes les plantes stressées par les sels combinés NaCl et CaCl₂ par rapport aux plantes qui sont arrosées avec la solution nutritive. Une augmentation de la teneur en matière sèche et une accumulation très importante de la matière minérale avec une diminution de la matière organique (proline).

Les teneurs en matière minérale et matière organique sont très importantes au niveau des tiges ; ceci s'explique d'une part, par le fait que l'Haricot doit assurer ses besoins d'eau par est l'ajustement osmotique, en augmentant leur pression osmotique en absorbant des sels qui vont être transportés et accumulés au niveau des feuilles et d'autre part, par la nature des vaisseaux conducteurs qui véhiculent la sève brute dans le sens ascendant.

De ce fait ,nous pouvons conclure et à travers les résultats obtenus, que le problème de la salinité est multiple, car en plus de la toxicité des ions Na⁺ et Cl⁻(dissous dans l'eau d'irrigation ou présents dans la solution du sol) et de la perturbation de la nutrition minérale (suite aux interactions entre les ions), les plantes ont du mal à absorber l'eau du sol du fait de sa pression osmotique élevée, et cela se traduit par un stress hydrique en plus du stress salin, compliquant et altérant ainsi de façon exponentielle leur état physiologique. Les cellules tendent par conséquent à ajuster leur propre potentiel hydrique en rétablissant l'homéostasie ionique cellulaire, que ce soit par la compartimentation vacuolaire des ions toxiques (Na⁺ et Cl⁻) absorbés et/ou leur exclusion hors de la cellule.

Les pratiques actuelles de gestion que les cultivateurs peuvent utiliser pour réduire le risque de salinisation des terres non irriguées sont axées sur la gestion des sols et des eaux.

La majorité de ces pratiques comportent des changements d'utilisation des terres destinés à augmenter l'utilisation des précipitations là où elles tombent et, par conséquent, à réduire le déplacement de l'eau excédentaire (et le lessivage des sels) depuis la surface du sol jusqu'à la nappe phréatique. L'amendement des sols par des proportions réduites en bentonite pourrait sans doute améliorer le bilan hydrique des plantes cultivées. L'utilisation de végétaux à racines profondes tend à réduire l'évaporation d'eau en surface et, par conséquent, la salinisation.

Les pratiques de gestion des sols et des eaux qui contribuent à réduire le risque de salinisation des terres non irriguées. Elles comprennent la réduction de la superficie en jachère, l'augmentation de la superficie consacrée au pâturage et à la culture de plantes fourragères vivaces et d'arbres. Elles conduisent aussi à l'augmentation de la superficie des terres où le travail du sol est réduit ou nul. De même par l'utilisation de plantes tolérant mieux le sel dans les cultures en rotation dans les régions à sol salin. Ceci permettra aussi la plantation de plantes vivaces à racines profondes aux endroits où une humidité excédentaire entraîne la salinisation.

Enfin ces pratiques consistent à l'utilisation de nouvelles technologies comme l'agriculture de précision, et la surveillance du niveau de la nappe phréatique dans les régions vulnérables comme outil de sélection des cultures pour la rotation.

La salinisation progressive des sols est un facteur limitatif majeur de la productivité agricole, en particulier dans les régions méditerranéennes. A l'inverse des halophytes naturellement tolérantes aux sels, la plupart des espèces d'intérêt agronomique sont rangées dans le groupe des glycophytes, dont la croissance est diminuée en présence de sel. La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées.

En revanche, et au niveau de la plante, cette dernière devra utiliser un autre moyen pour faire face au stress salin, qui consiste à synthétiser et accumuler des solutés organiques osmoprotecteurs, principalement des composés aminés et des sucres. Sur le plan énergétique, cette stratégie osmotique est beaucoup plus coûteuse que la régulation de l'homéostasie ionique. D'autre part, une forte concentration saline dans le sol induit chez la plante la production de formes actives d'oxygène qui provoquent un stress oxydatif dont la réduction des dommages pourrait se faire par le biais de la production d'antioxydants.

Ces principales réactions cellulaires élaborées par la plante afin de faire face et de s'adapter au stress salin sont inévitablement précédées par une cascade d'éléments de signalisation et de régulation qui peuvent emprunter différentes voies impliquant notamment

celle du calcium et des hormones de croissance à savoir l'acide abscissique (ABA et de l'éthylène.

La proline est accumulée au niveau des tiges par rapport aux feuilles à cause de la synthèse du Na^+ qui provoque la réduction des échanges gazeux et du taux d'assimilation due à un dysfonctionnement dans le métabolisme des sucres. Enfin, sachant que plusieurs plantes glycophytes résistantes expriment de relatives potentialités de croissance, de prélèvement et de stockage de sel dans leurs parties aériennes sont intéressantes pour la fixation et le dessalement des sols dans les zones arides et semi arides, peuvent être exploiter pour une meilleur valorisation des sols fortement salés et participer à la protection de ces agrosystèmes, c'est une solution efficace pour lutter contre la désertification et la salinisation des sols.

Il s'avère difficile d'estimer les conséquences d'un stress salin, car il recouvre à la fois des stress hydrique, ionique et nutritionnel. Ainsi, les impacts de la salinité sur le développement et le rendement de la plante sont aussi nombreux que difficiles à hiérarchiser. Les ions de chlorure et de sodium entrent dans les plantes par les racines et sont véhiculés par le xylème jusqu'aux tiges et aux feuilles. Là, ils sont soit stockés (plantes de type *include*), soit peu retenus et revéhiculés par le phloème jusqu'aux racines (plantes de type *exclude*). La saturation de l'espace intercellulaire des parties aériennes des végétaux par le sel est responsable de la nécrose et de la mort cellulaire. À l'intérieur des cellules, les ions sont accumulés dans la vacuole, tandis que le potentiel osmotique du cytoplasme est ajusté avec des solutés organiques dits compatibles : composés aminés (essentiellement proline et bétaïnes), sucres et polyols.

Aucun des éléments de réponse à l'application d'un stress salin étudiés à ce jour ne pouvant à lui seul servir de base de sélection pour la résistance au champ, il est difficile d'établir des schémas de sélection de variétés tolérantes au sel, d'où la nécessité de développer des approches génétiques. Il s'agit tout d'abord de choisir un crible pertinent de sélection afin d'identifier des mutants affectés dans une seule fonction participant à la tolérance au sel. L'analyse de ces mutants et l'étude des gènes correspondants pourront, d'une part, fournir des marqueurs et, d'autre part, permettre de définir des critères corrects pour la sélection de variétés tolérantes. Enfin, l'identification de gènes à rôle déterminant dans la tolérance est d'autant plus cruciale maintenant que l'on sait introduire des gènes dans la plupart des espèces cultivées, ce qui ouvre un large champ d'application aux travaux fondamentaux en la matière.

Les fabacées peuvent être utilisées comme source de protéine végétale dans l'alimentation animale et humaine, il donc souhaitable de réaliser des études poussées pour connaître la capacité adaptative de ces plantes au stress de la salinité et essentiellement les Faba

beans, ils peuvent être une source protéique très importante comparativement à d'autres types de Légumineuse. Afin de définir d'une manière soignée le rôle de cette espèce dans la nutrition humaine, il est nécessaire d'examiner son accumulation en sels et en fractions azotées et leur relation avec la salinité. Il faut aussi approfondir les recherches et des études sur les glycophytes qui peuvent valoriser les zones et les sols marginalisés. Enfin, de vastes superficies de terres salines resteront improductives si rien n'est fait pour les réhabiliter à l'aide de plantes très beaucoup plus tolérantes au sel tels que les halophytes et les glycophytes résistantes. Probablement la réhabilitation de ces zones par d'autres espèces tolérantes permettra d'obtenir une production rentable sur des terres incapables de porter d'autres végétaux.

Pour parvenir à définir des pratiques culturales permettant de surmonter un stress salin et pour créer des variétés tolérantes au sel, des études physiologiques, biochimiques, moléculaires et génétiques sont nécessaires.

Perspectives

Au cours de notre travail nous avons essayé de définir l'effet de la salinité sur une espèce de *Phaseolus vulgaris* L. et de définir l'action de la présence de la bentonite dans le sol sur ces mêmes plantes stressées qui s'avère être positive, alors il serait plus intéressant de mettre au point le mécanisme d'action du sel à l'échelle cellulaire.

Ainsi et d'après les résultats auxquels nous nous sommes parvenu et qui demeurent partiels mais ils contribuent forcément à l'enrichissement des travaux visant à sélectionner une espèce ayant une capacité adaptative au sel. Une étude moléculaire pour identifier les gènes responsables de la synthèse des solutés organiques dits compatibles : composés aminés (essentiellement proline et bétaïnes), sucres et polyols.

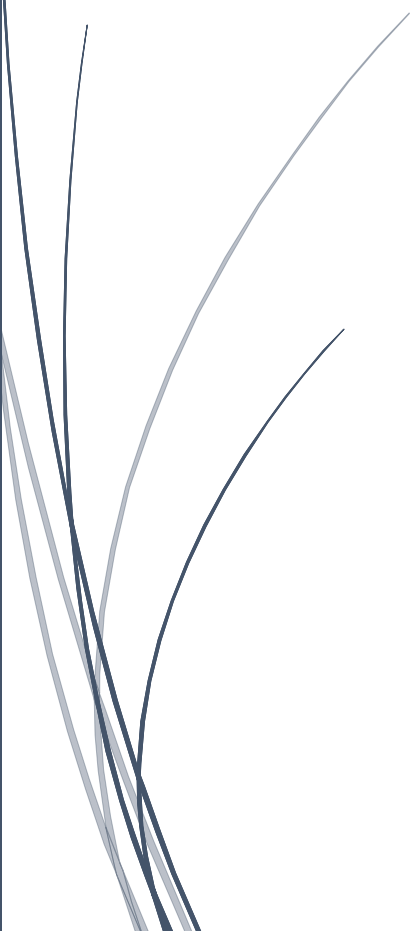
L'haricot espèce glycophyte a montré des caractères plus ou moins tolérants qui fait d'elle une variété intéressante pour intégrer un programme d'amélioration variétale, d'autres études approfondies sur cette variété seront nécessaires pour l'identification des gènes responsables de la tolérance à la salinité.

D'autres recherches plus approfondies relatives au transport de la sève brute et élaborée, apporteront d'autres réponses, à savoir :

- L'accumulation des ions sodium /chlore, et déterminer le temps de translocation de ces ions vers toutes les autres parties de la plante.

- Essayer des durées prolongées supérieures à 45 jours comme temps d'acquisition d'images surtout pour les plantes stressées.
- Etablir une étude comparative avec notre espèce pour définir le transport de ces éléments à travers les tissus conducteurs, notamment celui du xylème.
- Utiliser d'autres techniques de dosage des éléments minéraux dans les plantes pour bien définir les interactions ioniques qui existent entre le NaCl et la bentonite lors des stress abiotiques.

Références Bibliographiques



Références Bibliographiques

- ❖ **Abdelouahab C, Ait Amar H, Obertenov TZ, Gaid A** .1988. Fixation sur des argiles bentonitiques d'ions métalliques présents dans les eaux résiduaires industrielles cas du Cd (II) et du Zn (II), Rev. Sci. Eau 13, 2, 33-40.
- ❖ **Aceves N E, Stolzy LH, Mehuys G R**. 1975. Effects of soil osmotic potential produced with two salt species on plant water potential, growth, and grain yield of wheat. Plant Soil 42, 619-627.
- ❖ **Achour S, Youcef L**. 2003. Elimination du cadmium par adsorption sur bentonites sodique et calcique, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, N° 02, Université de Biskra.
- ❖ **Achour S, Youcef L**. 2005. Elimination des phosphates par des procedes physico-chimiques, Laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface LARHYSS, Université de Biskra, B.P. 145, R.P., 07000, Biskra, Algérie, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 04, Juin 2005, pp.129-140.
- ❖ **Adams NW, Coyne DP, Davis JHC, Grahaivi PM, Francis C.A**. 1985. Commun bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in summerfield, grain legume crop, collins, London. 433-476 PP.
- ❖ **Adda A**. 1996. Etude des paramètres morfo-physiologiques et anatomiques du blé dur dans une zone semi aride. Thèse de Magister, INA- El Harrach, p.120.
- ❖ **Alaoui MM, Jourmi LE, Ouarzane A, Lazar S, Antri SE, Zahouily M, Hmyene A**. 2013. Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé dur (Effect of salt stress on germination and growth of six Moroccan wheat varieties). Laboratoire de Catalyse, Chimie & Environnement, URAC24, FST, Université Hassan II Mohammedia- Casablanca, BP146, 20650 Mohammedia, Maroc. 8p
- ❖ **Alem C. et Amri A**. 2005. Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge, Reviews in Biology and Biotechnology, Canada. Vol.4, N° 1: 20-31.
- ❖ **Antipolis N S**. 2003. Les cahiers du plan bleu 2. Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens Etude bibliographique. 71 P.
- ❖ **Apse MP, Blumwald E**. 2002. Engineering salt tolerance in plants. Current Opinion in Biotechnology ; 13: 146-150.
- ❖ **Ashraf M, Bashir A**. 2003. Salt stress induced changes in some organic metabolites and ionic relations in nodules and other plant parts of two crop legumes differing in salt tolerance. Flora. 198: 486–498.
- ❖ **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.
- ❖ **Asloum H**. 1990. Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicon esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes.

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

- ❖ **Aubert G** .1978. Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales de l'I.N.A El-Harrach, Vol. 6, N° 1: 195
- ❖ **Barreto MM**. 1983. Etude expérimentale du développement des racines adventives de la tige de *Phaseolus vulgaris* L. Mémoire de D.E.A. Université de Dakar, Sén., 67 p.
- ❖ **Bayuelo JS, Craig R, Lynch JP**. 2002. Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. Crop. Sci, 42, 2184-2192.
- ❖ **Belkhodja M, Ait-Saadi M**. 1993. Action de la salinité sur les teneurs en proline des organes juvéniles de trois lignées de fèves (*Vicia faba* L.). Acta Bot. Gallica. 140 (5)1-6.
- ❖ **Belkhodja M, Chadli R, Hadj Ziane Z**. 2000. The ionic behaviour of Faba bean (*Vicia faba* L.) to salt stress. Egypt. J. Appl. of Sci. vol.15 N°12:422-437.
- ❖ **Belkhodja M, et Bidai Y**. 2004. Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. Sécheresse, vol. 4, N° 15 : 456-471.
- ❖ **Belkhodja M**. 1996. Action de la salinité sur le comportement physiologique, métabolique chez la fève (*Vicia faba* L.) Thèse doct. En Sciences Naturelles, Université d'Oran, 255 p.
- ❖ **Bell A**. 1994. Plantes à fleurs : la morphologie descriptive et dynamique des plantes à fleurs. edit. Masson, Paris. 340 P.
- ❖ **Bellinger Y, Bensaoud A, Larher F**. 1989. Physiological significance of proline accumulation, a trait of use to breeding for tress tolerance. Colloque Physiology-Breeding of winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments, Montpellier, France, 3-6 July 1989.
- ❖ **Ben Ahmed H, Manaa A, Zid E**. 2008. Tolérance à la salinité d'une *Poaceae* à
- ❖ **Ben Ahmed H, Zid E, El Gazzah C, Grignon C**. 1996. Croissance et accumulation ionique chez *Atriplex halimus* L. Cahiers d'Agricultures, Vol. 5 : 367-372.
- ❖ **Ben Khaled L, Morte Gómez A, Honrubia M, Oihabi A**. 2003. Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par rhizobium.
- ❖ **Ben Naceur M, Rahmoune C, Sdiri H, Meddahi M, et Selmi M**. 2001. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé ; Science et changements planétaires/Sécheresse, Vol. 12, (3)167-74.
- ❖ **Bendjama O**. 1984. Étude des bentonites algériennes mémoire de magister en polytechnique Alger.
- ❖ **Benkhalifa M, Y Daoud**. 1998. Influence of bentonite on the physical properties of a sandy soil. Ann. INA-El Harrach, 19: 18-29.
- ❖ **Benkhalifa M, Arbaoui M, Belkhodja M**. 1999. Effets combinés de la salinité et de la bentonite sur la densité racinaire d'une culture de tomate cultivée sur un substrat sableux. Séminaire National sur la Salinisation des terres Agricoles en Algérie, Chlef: 101- 108.

- ❖ **Benmahioul B, Daguin F, Kaid-Harche M.** 2009. Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.). C.R. Biologies, 332:164-170.
- ❖ **Berthomieu PI.** 2003. Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. EMBO J. 22: 2004–2014.
- ❖ **Black JR, Epstein E Rains WD, Yin QZ Casey WH.** 2008. Magnesium-isotope fractionation during plant growth. Environment al Science and Technology 42, 7831-7836.
- ❖ **Blum A.** 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. Plant Growth Regulation 20: 135-148. DOI: 10.1007/BF0002401.
- ❖ **Blumwald E, Aharon GS, Apse MP.** 2000. Sodium transport in plant cells. Biochim. Biophys. Acta 1465, 140–151.
- ❖ **Bohnert HJ, Nelson DE, Jensen RG.** 1995. Adaptions to environmental stresses, *The Plant Cell* 7, 1099–1111.
- ❖ **Bolou-Bi E, B Poszwa, A Leyval, C, Vigier N.** 2010. Experimental determination of magnesium isotope fractionation during higher plant growth. Geochim. Cosmochim. Acta 74, 2523-2537
- ❖ **Bonneau M, Souchier B, Coll.** 1979. Pédologie ; 2, Constituants et propriétés du sol, Paris, Masson, XVIII et 459 p.
- ❖ **Bouazza F.** 2012. Elimination des polluants organiques par des argiles naturelles et modifiées, mémoire de magistère, université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, pp 9-11.
- ❖ **Bougdah N.** 2007. Etude de l'adsorption de micropolluants organique sur la bentonite, mémoire de magisters Université 20 Août 5, Skikda, pp 30-352.
- ❖ **Bousnina H, Mhiri A.** 1997. Amélioration de la réserve d'eau utile des sols sableux des régions arides par un amendement argileux. Sécheresse 8, 241–246.
- ❖ **Boutelier E.** 1986. Effet du NaCl sur la physiologie du cotonnier, *Gossypium hirsutum* L. Son rôle dans l'acquisition de la résistance à la sécheresse. Thèse Doc Univ., Paris 6, 142 p.
- ❖ **Bouteyre G, Loyer J Y.** 1992. Sols salés, eaux saumâtres, des régions arides tropicales et méditerranéennes: principaux faciès, conséquences pour l'agriculture. In: Le Floch, E., Grouzis, M., Cornet, A., Bille, J.C., L'aridité: une contrainte au développement. Edition de l'orstom, Paris, pp. 69–80.
- ❖ **Bray EA, Bailey-Serres J, Weretilnyk E.** 2000. Responses to abiotic stresses. In: Buchanan BB, Gruissem W, Jones RL (eds) Biochemistry and molecular biology of plants. American Society of Plant Physiologists, Rockville, pp 1158–1203.
- ❖ **Bruand A, Coquet Y.** 2004. Sol et environnement (Chapitre 15). Les sols et le cycle de l'eau (1) CNRS-ISTO – UMR6113, Orléans Cedex 2 (2) INRA.
- ❖ **Brugnoli E, Lauteri M.** 1991. Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity and carbon isotope discrimination of salt-tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and salt-sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C3 non-halophytes. Plant Physiol. (95) 628-635.

- ❖ **Brun A.** 1980. Effets comparés de différentes concentrations de NaCl sur la germination, la croissance et la composition minérale de quelques populations de luzernes annuelles d'Algérie. These Doct. 3e cycle, USTL, Montpellier, 79 p.
- ❖ **Bryssine G.** 1961. Etude sur l'évolution des sols de Béni Amir et leur salure sous l'effet des irrigations. Cahiers de la Recherche Agronomique, No 12, Maroc.
- ❖ **Cabuslay GS, and Alejar A A.** 2002. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit, Plant Sci. (163) 815–827.
- ❖ **Calvet R,** 2003. Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques.
- ❖ **Camefort H, Sangwan RS.** 1979. Action d'un choc thermique sur certaines ultrastructures des grains de pollen embryogènes du *Datura metel* L. C.R. Acad. Sci. Paris 288: 1383–1386.
- ❖ **Carpici N, Celik G, Bayram BB, Asik.** 2010. The effects of salt stress on the growth, biochemical parameter and mineral element content of some maize (*Zea mays* L.) cultivars. Afr. J. Biotechnol., 9(41): 6937-6942.
- ❖ **Cechin I, Rossi SC, Oliveira V.** 2006. Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. Photosynthetica 44, 1, 143-146.
- ❖ **Chadli R, Belkhodja M.** 2007. Contribution à l'étude des réponses physiologiques ; anatomiques et cytogénétiques de la fève (*vicia faba* L.) au stress de la salinité. Thèse doct. Sciences biologiques université d'oran Es-senia.
- ❖ **Chaffei C, Pageau K, Suzuki A, Gouia H, Ghorbel MH, Masclaux-Daubresse C.** 2004. Cadmium toxicity induced changes in nitrogen management in *Lycopersicon esculentum* leading to a metabolic safeguard through an amino acid storage strategy. Plant Cell Physiol. 45:1681–1693.
- ❖ **Cheeseman JM.** 1988. Mechanisms of salinity tolerance in plants. Plant Physiology 87, 547–550.
- ❖ **Chenais F, Legarto J, Wig P, Haurez P.** 2003. Valorisation des maïs "sécheresse". CNES ; Communiqué de Presse ; Les conséquences de la sécheresse vues de l'espace. Toulouse.
- ❖ **Chevery C, Robert M.** 1993. Salure des sols magrbiens. Influence sur des propriétés phyco-chimique des sols. Répercussions des modifications de ces dernières sur la fertilité, notamment azotée des sols. ENSA Rennes, 59 p.
- ❖ **Chopart JL.** 1985. Développement racinaire de quelques espèces annuelles cultivées en Afrique de l'Ouest et résistance à la sécheresse. In La Sécheresse en zone intertropicale. Pour une lutte intégrée, CILF édit. Paris, p. 145-154.
- ❖ **Chretien D.** 1992. La résistance au sel chez le jojoba (*Simmondsia chinensis* LS), croissance et modification du contenu lipoprotéique de calcs cultivés en présence d'une teneur élevée en NaCl. Thèse doct. Univ. Paris VI, 144 P.
- ❖ **Comfort S.** 2006. Remediating RDX and HMX contaminated soil and water. In: Bioremediation of Aquatic and Terrestrial Ecosystems, eds: pp. 263-310

- ❖ **Cordovilla MP, Ligerio F, Lluch C.** 1995. Influence of host genotypes on growth, symbiotic performance and nitrogen assimilation in Faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress. *Plant Soil*. 172: 289-297.
- ❖ **Cornillon P, Auge M.** 1994. Salinité adaptation du piment Dossier INRA Agroparc. Avignon.
- ❖ **Cornillon P, Palloix A.** 1995. Influence of sodium chloride on the growth and mineral nutrition of pepper cultivars. *J. Plant Nutr.* 1997, 20, 1085–1094.
- ❖ **Dajoz.** 1982. Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée Ed. Gauthier-
- ❖ **Daoud Y.** 1993. Contribution à l'étude des sols des plaines du Chélif. Le phénomène de salinisation et ses conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse Doc. Es. sci I.N.A. Alger. 197p.
- ❖ **Debouck DG.** 1999. Diversity in Phaseolus species in relation to the common bean. In: Singh, S.P. (ed.) Common bean improvement in the twenty-First century. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, pp. 25-52.
- ❖ **Delbart F.** 1995. Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*. (4) 263-273.
- ❖ **Delgado M J, Ligerio F, Lluch C.** 1994. Effects of salt stress on growth and nitrogen fixation by pea, faba-bean, common bean and soybean plants. *Soil Biol. Biochem.*, 26, 371-376.
- ❖ **Demir I, Mavi K, Ozcoban M, Okcu G.** 2003. Effect of salt stress on germination and seedling growth in serially harvested aubergine (*Solanum melongena* L.) seeds during development. *Israel Journal of Plant Sciences*, 51: 125-131.
- ❖ **Demiral T, Turkan I.** 2004. Does exogenous glycinebetaine affect antioxidative system of rice seedlings under NaCl treatment. Doi :10.1016/j.jplph.2004.03.009.
- ❖ **Denden M, Bettaieb T, Sahli A, Mathlouthi M.** 2005. Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. *Tropicultura*. Vol. 23 N°4, pp220-226.
- ❖ **DeoR, Kanwar JS.** 1969. Effect of saline irrigation waters on the growth and chemical composition of wheat. *J. Indian. Soc. Soil Sci.* 16, 365-370.
- ❖ **Ding Z L, Derbyshire E, Yang S L, Sun J M, Liu T S.** 2005. Stepwise expansion of desert environment across northern China in the past 3.5Ma and implications for monsoon evolution, Earth planet. *Sci. Lett.*, 237, 45–55.
- ❖ **Dreier W, Goring R.** 1978. Possibilité d'une élaboration d'un test de présélection des variétés de plantes ayant haute résistance au sel sur la base de la relation entre la teneur en proline des tissus végétaux et la résistance aux sels. Journées d'Etudes des Recherches Agronomiques du 22-30 Mars, INA, EL-Harrach, Algérie.
- ❖ **Driouich A, Rachidai A.** 1995. étude de l'effet du traitement salin sur la croissance du ble dur (*triticum durum* desf.). *actes inst. agron. vet. hassan II (maroc)*. 16 (1) 33-40.
- ❖ **Dubey J P.** 1994. Status of toxoplasmosis in pigs in the United States. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 196: 270- 274.

- ❖ **Duchaufour P H.** 1977. Pédologie : sol, végétation, environnement. Ed Masson. PARIS, 350P.
- ❖ **Dupont F, Guignard JL.** 1989. Haricot nain (Bulletin des variétés). Edit. Masson. Collection : Abrégés pharma. Paris. 510P.
- ❖ **Duranti M, Gius C.** 1997. Legume seeds: Protein content and nutritional value. Field Crops Resh, 53, 31-45.
- ❖ **Dussert S, Chabrilange N, Engelmann F.** 2002. Cryoconservation ; Biotechnologies végétale : Techniques de laboratoire : Europe média duplication S.A ; Edition TEC et DOC France.105-120.
- ❖ **Dutuit P.** 1999. Étude de la diversité biologique de l'Atriplex halimus pour le repérage in vitro et in vivo d'individus résistants à des conditions extrêmes du milieu et constitution de clones Summary reports of European Commission supported STD-3projects (1992-1995), published by cta tropical and subtropical agriculture, third stdprogramme : 138-141.
- ❖ **El-Jaafri S, Paul R.** 1993. Accumulation foliaire de la proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum*), Physiol. Biochimi. Biophys.101-138.
- ❖ **El-Sherif AF, El-Hady OA.** 1986. The possibility of using Egyptian bentonite deposits for sandy soils reclamation and planting. Egypt. J. Soil Sci., 26: 171-180.
- ❖ **Epstein E, Norlyn JD, Ruch DW, Kingsbury RW, Cunningham AF, Wrona AF.** 1980. Saline culture of crops: A genetic approach. Science, 210: 399-404.
- ❖ **Erdei L, Stuiver GEC, Kupier PJC.** 1980. The effect of salinity on lipid composition and on activity of Ca²⁺ and Mg²⁺ simulated ATPase in salt-sensitive and salttolerant Plantago Species. Physiol. Plant. 49, 315-319.
- ❖ **F.A.O.** 2004. Food and Agricultural Organization of the United Nations. State of World Fisheries and Aquaculture. Rome.
- ❖ **F.A.O.** 2005. Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt affected Soils. Rome, Italy: FAO Land and Plant Nutrition Management Service.
- ❖ **Faria SM, Lewis GP, Sprent JI, Sutherland JM.** 1989. Occurrence of nodulation in the leguminosae. New Phytol, 111: 607-619.
- ❖ **Flowers TJ, Bolarin MC.** 2005. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the concentration of sodium and chloride to the shoot. J Exp Bot 56 : 703- 712.
- ❖ **Flowers TJ.** 2004. Improving crop salt tolerance. JExp Bot. 55, 307-331.
- ❖ **Francois LE, Donovan T, Maas EV.** 1984. Salinity effects on seed yield, growth and germination of grain sorghum. Agron. J., 76:741-744.
- ❖ **Gama P B S, Inanaga S, Tanaka K, Nakazawa R.** 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress.African J.of Biot.Vol. 6 (2) 79-88.
- ❖ **Gaucher G, Burdin.** 1974. Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés, presses, presses Universitaire de France, 230 P.
- ❖ **Gepts P, Debouck D.** 1991. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). p. 7-53. In A. van Schoonhoven and O. Voysest (ed.) Common

beans: Research for crop improvement. C.A.B. Intl., Wallingford, UK and CIAT, Cali, Colombia.

- ❖ **Gepts P, Osborn, TC, Rashka K, Blis FA.** 1986. Phaseolin protein variability in wild forms and landraces of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): evidence for multiple centers of domestication. *Econ. Bot.* 40, 451-468.
- ❖ **Ghoulam C, Fares K.** 2001. Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Seed Science and Technology* 29:357-364.
- ❖ **Girard P, Prost J, Bassereau P.** 2005. Passive or Active Fluctuations in Membranes Containing Proteins *Phys. Rev. Lett.* 94, 088102 : 60-64.
- ❖ **Gordon A, Rose L E, Allen R L, Armstrong MR.** 2004. Differential recognition of highly divergent downy mildew avirulence gene alleles by RPP1 resistance genes from two Arabidopsis lines. *Plant Cell* 17:1839–50.
- ❖ **Gouia H, ghorbal MH, Touraine B.** 1994. Effects of NaCl on flows of N and mineral ions and NO₃ - reductase rate within whole plants of salt-sensitive bean and salttolerant cotton. *Plant Physiol.* 105:1407-1418.
- ❖ **Goust J, Seignobos F.** 1998. Le haricot. Edit. Arles : Actes Sud, Paris. 92P.
- ❖ **Graham PH, Vance C P.** 2003. Legumes: Importance and constraints to greater use. *Plant Physiol*, 131: 872-877.
- ❖ **Greenway H, Munns R.** 1980. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 31:149-190.
- ❖ **Grime J P.** 1979. Plant strategies and vegetation processes. New York: John Wiley and Sons. 222 P.
- ❖ **Guckert JB, Ringelberg, DB, White DC.** 1987. Biosynthesis of trans fatty acids from acetate in the bacterium, *Pseudomonas atlantica*. *Canadian Journal of Microbiology* 33, 748-754.
- ❖ **Guillaume C.** 2004. L'eau, le sol et les plantes, Master 1 sciences végétales, spectrosciences, 273 p.
- ❖ **Hajjaji M, El Arfaoui H.** 2009. « Adsorption of méthylène blue and zinc ions on raw and acid-activated bentonite from Morocco ». *Applied Clay Science* 46, 418- 421.
- ❖ **Hajjaji M, El Arfaoui H.** 2009. Adsorption of méthylène blue and zinc ions on raw and acid-activated bentonite from Morocco. *Applied Clay Science* 46, 418- 421.
- ❖ **Hajji M, Lachaal M, Soltan A, Abdelly C.** 1999. Réponse des plantes au stress salin : Aspects écophysologiques et biochimiques de la tolérance au sel. *Comm. Pres, Agadir*, 6-15 Avril.
- ❖ **Halilat M T, Tessier D.** 2006. Amélioration de la rétention en eau de matériau sableux par ajout de bentonite. *Cahiers Agricultures*, Vol. 15, n° 4, 347-353.
- ❖ **Halitim A.** 1988. Sols des régions arides d'Algérie. Thèse de Doctorat d'État, Office des publications universitaires d'Algérie (OPu).
- ❖ **Hamdy A.** 1999. Saline irrigation and management for a sustainable use. In: *Advanced Short Course on Saline Irrigation Proceeding, Agadir* : 152-227.

- ❖ **Hamza M.** 1977. Action de différents régimes d'apport du chlorure de sodium sur la physiologie de deux légumineuses : *Phaseolus vulgaris* (sensible) et *Hedysarum carnosum* (tolérante). Relations hydriques et relations ioniques. Thèse d'Etat. Seasonal Chemical Composition of Leaves of Three *Atriplex halimus* (Paris : Université de Paris VII, 252 p. Irrigation Proceeding, Agadir : 152
- ❖ **Haouala F, Ferjani H, Ben El-Hadj S.** 2007. Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{++}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, Vol. 11, N°3 : 235- 244.
- ❖ **Hayashi H, Alia, Sakamoto A, Nonaka H, Chen THH, Murata N.** 1998. Enhanced germination under high-salt conditions of seeds of transgenic *Arabidopsis* with a bacterial gene (*codA*) for choline oxidase. *Journal of Plant Research* 111, 357– 362.
- ❖ **Heller R, Robert E, Claude L.** 2004. La physiologie végétale (tome 1- Nutrition) 6^o édition de l'Abrégé Saint-Jean de Braye 323p.
- ❖ **Hepler PK, Wayne RO.** 1985. Calcium and plant development. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 36, 397-439.
- ❖ **Hireche YA.** 2006. Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L.) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de Magister, Université Al Hady Lakhdar-Batna (Algérie), 83 p.
- ❖ **Hoagland D, Arnon D I.** 1938. The water culture method for growing plants without soil. *Univers.califor.AES.Cir.* (347) 1-36.
- ❖ **Hopkins WG.** 2003. *Physiologie Végétale*. Traduction de la 2^{ème} édition américaine par Serge .R. Ed. De Boeck, p. 66-81.
- ❖ **Howeler R H.** 1980. Nutritional disorders in schwartz, Galvez, H. F. Bean production problems. CIAT, cali, colombia. 124-220 PP
- ❖ **Hubert P.** 1978. Recueil de fiches techniques d'agriculture spéciale à l'usage des lycées agricoles à Madagascar Antananarivo, BDPA.
- ❖ **Idder T, Idder A, Cheloufi H.** 2013. La surexploitation des ressources hydriques au Sahara algérien et ses conséquences sur l'environnement. Un cas typique : l'oasis de Ouargla (Sahara septentrional). *Techniques Sciences Méthodes*, 5, 31-39.
- ❖ **Jamil M, W Iqbal, A, S Rehman, QM Imran, ES Rha.** 2010. Constitutive expression of OSC3H33, OSC3H50and OSC3H37genes in rice under salt stress. *Pak.J. Bot.*, 42 : 4003-4009.
- ❖ **Jeannequin B, Brun R, Guimbard C, Corre J.** 1987. Les systèmes de culture hors sol en maraîchage. Les cultures hors sol, Ouvrage collectif dirigé par Denis Blanc, pp. 251-280.
- ❖ **Jeannequin B, Dosba F, Amiot-Carlin M J.** 2005. Fruits et légumes, caractéristiques et principaux Enjeux. Publié par l'Institut National de la Recherche Agronomique, 147, rue de l'Université, 75338 Paris Cedex 07, 114p.

- ❖ **Johannes E, Brosnan JM, Sanders D.** 1991. Calcium channels and signal transduction in plant cells. *Bio Essays*. 13, 331-336.
- ❖ **Jones H G, Flowers TJ, Jones M B.** 1989. *Plant under stress*. Society for Experimental biology. Seminar series 39. Cambridge University Press.
- ❖ **Jozja N.** 2003. "Étude de matériaux argileux Albanais. Caractérisation "multi-échelle" d'une bentonite magnésienne. Impact de l'interaction avec le nitrate de plomb sur la perméabilité." Thèse de doctorat de l'Université d'Orléans.
- ❖ **Julien Laurent.** 2009. Thèse de Doctorat, de l'Université ENSIL Limoges. Thème : «Modifications de la répartition d'espèces métalliques (Cd, Cu) induites par des prétraitements physique (ultrasons), chimique (ozone) et thermique au sein des procédés à boues activées».
- ❖ **Kaymakanova M, Stoeva N.** 2008. Physiological reaction of Bean plants (*Phaseolus vulgaris*) to salt stress. *Gen. Appl. Plant Physiology*, special issue, (3-4), 177-188.
- ❖ **Kennedy AR.** 1995. The evidence for soy bean products as cancer preventative agents. *J.Nutr*, 125: 733-743.
- ❖ **Khan MH, Panda S.** 2008. Alteration in root lipid peroxidation and antioxidative response in two rice cultivars under NaCl salinity stress. *Acta Physiol*, 30. 91-89.
- ❖ **Khan MH, Panda SK.** 2008. Alteractions in root lipid peroxidation and anioxidative reponses in two rice cultivars ubder NaCl- Salinity stress, *Acta physiol plant*, 30, 90-89.
- ❖ **Khedr AH, Abbas MA, Wahid AA, Quick WP, Abogadallah GM.** 2003. Proline induces the expression of salt-stress-responsive proteins and may improve the adaptation of *Panocratium maritimum* L. to salt-stress. DOI:10.1093/jxb/erg277.
- ❖ **Kouloughli S.** 2007. Etude expérimentale des mélanges sable-bentonitex Leurs Performances comme Barrières de Confinement dans les CET-. Doctorat d'Etat en Génie Civil Option : Géotechnique Environnementale. Faculté des Sciences de l'Ingénieur. Université Mentouri Constantine.
- ❖ **Kratsch H A, Graves W R, Gladon R J.** 2006. Aeroponic system for control of root-zone atmosphere. *Environmental and Experimental Botany*, 55: 70-76.
- ❖ **Kreimer G, Melkonian M, Holtum J, Lutzko E.** 1988. Stromal free Ca⁺⁺ concentration and light mediated activation of chloroplast fructose 1,6 biphosphatase. *Plant. Physiol.* (86)423-428.
- ❖ **Kylin A, Quatrano RS.** 1975. plants in Saline enveronments. *Ecological studies. Analysis and Synthesis*. 147-167. Springer, Berlin. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-80929-3>.
- ❖ **La Haye PA, Epstein E.** 1971. Calcium and salt toleration by bean plants. *Plant physiol.* 25, 213-218.
- ❖ **Le Houerou H N.** 1986. Salt-tolerant plants of economic value in the Mediterranean basin. *Reclamation and Vegetation Research*. Vol. 5: 319- 341.
- ❖ **Le Saint C.** 1985. Analyse critique des systèmes de culture hors sol avec et sans recyclage des solutions. Conséquences au niveau des contrôles analytiques, in : *Les cultures hors-sol*, Paris, D. BLANC(éd.),INRA, 409 p.

- ❖ **Leclerc J C.** 1999. Ecophysiologie végétale ; Publications de l'Université de Saint Etienne.173 p.
- ❖ **Lecomte B.** 1997. Etude du développement embryonnaire in vivo et in vitro dans le genre *Phaseolus* l. thèse doct. sci. agron. gembloux, belgique : faculté universitaire des sciences agronomiques de gembloux, 186 p.
- ❖ **Lemzeri H.** 2006. Réponses écophysiologiques de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. gomphocephala* et *S. molle*) soumises à un stress salin. Mémoire de magistère, Université de Mentouri Constantine, 180 p.
- ❖ **Lesoaos J.** 1978. Effets du NaCl et du CaCl₂ sur la croissance du *Cochlearia Anglica*. Soc.Bot. (3) 453-459.
- ❖ **Levigneron A, Lopez F, Delbart F.** 1995. Les plantes face au stress salin. Cah. Agric. 4, p. 263–273.
- ❖ **Levitt J.** 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses, vol. II: Water, Radiation, Salt and Other Stresses. Academic Press, New York.
- ❖ **Lozet, Mathieu.** 1990. Dictionnaire de science du sol. Ed. Tech et Doc. Lavoisier, Paris.
- ❖ **Luckham PF, Rossi S.** 1999. "Colloidal and rheological properties of bentonite suspensions" Adv. Colloid Interface Sci. 82, 43-92.
- ❖ **Luttge U, Popp M, Medina E, Cram WJ, Diaz M, Griffiths H, Lee HSJ, Schafer C, Smith JAC, Stimmel KH.** 1989. Ecophysiology of xerophytic and halophytic vegetation of a coastal alluvial plain in northern Venezuela. V. The *Batis maritima-Sesuvium portulacastrum* vegetation unit, *New Phytologist* 111, 283-291.
- ❖ **Ma Q, RH Tipping, C Boulet.** 2006. Irreducible correlation functions of the S matrix in the coordinate representation: Application in calculating Lorentzian half-widths and shifts. *J. Chem. Phys.*, 124, 014109, doi:10.1063/1.2139671.
- ❖ **Maaouia Houimli S, Denden, M, Ben El Hadj S.** 2008. Induction of salt tolerance in pepper (*Capsicum annum*) by 24-epibrassinolide. *EurAsia J BioSci.*, 2, 83-90.
- ❖ **Maas E V, Niemann R H.** 1978. Physiology of plant tolerance to salinity. in Crop tolerance to suboptimal land conditions. Am. Soc. Agron., Madison, Wis .277- 298 P.
- ❖ **Maas EV, Grieve, CM.** 1987. Sodium induced calcium deficiency in salt-stressed
- ❖ **Maillard J.** 2001. Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34 p.
- ❖ **Mainguet M.** 2003. Les pays secs, environnement et développement, édit Ellipses, Paris, 159p
- ❖ **Mallek M E, Boulasnem F, Ben Salem M.** 1998. Effet de la salinité sur la germination de graines de céréales cultivées en Tunisie. *Cahiers Agricultures.* (2)153-6.
- ❖ **Markhart HA.** 1985). Comparative water relations of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus acutifolius* Gray. *Plant Physiol.* 77:113-117.
- ❖ **Mas Y.** 1983. World vegetation. Principles, production and nutritives values.

- ❖ **Meloni DA, Gulotta, MR, Martinez CA, Oliva MA.** 2004. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycine-betaine accumulation in *Prosopis alba*. *Braz. J. Plant Physiol.*, 16: 39-46.
- ❖ **Merah O.** 1999. Utilisation de la discrimination isotopique du carbone pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur dans les régions méditerranéennes. Thèse Doctorat, Enasar; France : 144p.
- ❖ **Messedi D, Abdelly C.** 2004. Physiologie de la tolérance au sel d'une halophyte de recouvrement : *Batis maritima*. *Revue des Régions Arides*, Tome 1, N°spécial : 192-199.
- ❖ **Mohammed TH, Daniel T.** 2006. Laboratoire de bio ressources sahariennes : préservation et valorisation, Département des sciences agronomiques, Université de Ouargla, 30000 Algérie, Institut national de la recherche agronomique (Inra), Station Science du sol, Route de Saint, 78026 Versailles.
- ❖ **Moinuddin, Fischer R A, Sayre K D, Reynolds M P.** 2005. Osmotic adjustment in wheat in relation to grain yield under water deficit environments, *Agron. J.* 97, 1062–1071.
- ❖ **Molinari NA, Ortega-Sanchez IR, Messonnier ML, Thompson VW, Wortley PM, Weintraub E, Bridges CB.** 2007. The annual impact of seasonal influenza in the measuring disease burden and costs Doi :10.1016/j.vaccine.2007.03.046.
- ❖ **Monnet Y, Pigeon M, Thibault J.** 1999. Produits phytosanitaires autorisés à la vente : cultures légumières et fraisier. Edit. NRA, Paris, 330 p.
- ❖ **Monneveux bJ, Wery C, Borries I, Souyris A, Charrier D.** 2008. relationships between relative water content and growth parameters under water stress in barley: a QTL study.
- ❖ **Morard P.** 1995. Les cultures végétales hors sol. Publications Agricoles Agen, 304p.
- ❖ **Mosiniak M, Roland JC .**1986. The glucuronoxylans and the helicoidal shift in cellulose microfibrils in linden wood: cytochemistry in muro and on isolated molecules. *Protoplasma* 131: 185–199
- ❖ **Munns R.** 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* (25) 239–250.
- ❖ **Munns R.** 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist* 167,645 663.
- ❖ **Munns R.** 2006. Assessing risks to wildlife populations from multiple stressors: overview of the problem and research needs. *Ecology and Society* 11(1): 23.
- ❖ **Mvondo Awono, JP,** 1997. Fertilisation azotée du maïs-grain (*Zea mays* L.) en rotation avec une luzerne non dormante (*Medicago sativa* L. var. nitro). Thèse de doctorat, université Laval, 194p.

- ❖ **Navarro JM, Garrido C, Carvajal M, Martinez V.** 2002. Yield and fruit quality of pepper plants under sulfate and chloride salinity. *J. Hort. Sci. and Biotech* 77:52–57.
- ❖ **Niu X, Bressan, RA, Hasegawa, PM, Pardo, JM.** 1995. Ionhomeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiol.* 109(3) :735–742. PMID:12228628.
- ❖ **Nouri L.** 2002. Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en condition de déficit hydrique. Thèse de Magistère en Biologie végétale UnivMentouri. Constantine. 77 p.
- ❖ **Opfergelt SD, Elvaux B, André L, Cardinal D.** 2008. Plant silicon Isotopic signature might reflect soil weathering degree. *Biogeochemistry* 91,163-175.
- ❖ **Ortega L, Fry SC, Taleisnik E.** 2006. Why are Chloris gayana leaves shorter in salt-affected plants? Analyses in the elongation zone. *J. Exp. Bot.* 57: 3945–3952.
- ❖ **Paquin R, G Pelletier.** 1987. Influence de l'âge des plantes sur La tolérance au gel et La teneur en proline et en matière sèche de La luzerne *Medicago media* pers. *Acta Oec. Plant.*, 8, 69-80.
- ❖ **Parida A K, Das AB.** 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* (60) 324-349.
- ❖ **Peron JY.** 2006. Références productions légumières (2^{ème} éd.). edit. librairie germer baillere et cie, Paris, 650p.
- ❖ **Pesci P , Beffagna N.** 1984. Inhibiting effect of fusicoccin on abscisic acid-induced proline accumulation in barley leaf segments. *Plant Science Letters*, 36, 7-12.
- ❖ **Phillips R, Rix M, Goutier J.** 1994. Légumes. Edit. La Maison Rustique, Paris. 269 p.
- ❖ **Poljakoff-Mayber A.** 1975. Morphological and anatomical changes as a response to salinity stress, in *Plants in Saline Environments. Ecological Studies. Analysis and Synthesis* (Poljakoff-Mayber, A. et Gale, J., Eds). Vol. 15: 97-117. Springer, Berlin.
- ❖ **Poljakoff-Mayber A.** 1988. Ecological-physiological studies on the responses of higher plants to salinity and drought. *Arid Zone Res.* 6: 163-183.
- ❖ **Rajendrakumar CS, BV Reddy, AR Reddy.** 1994. Proline-protein interactions: Protection of structural and functional integrity of M₄ lactate dehydrogenase. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 201: 957-963.
- ❖ **Raju KP, Desai J N, Chandrasekhar T, Ashok N M.** 1993. Precursors, arginine, ornithine, or methionine in ameliorating the inhibitory effect of NaCl on wheat plant. *Egyptian J. Biotechnol.* 9 : 328-340.
- ❖ **Ramos J, Lopez M J, Benlloch, M.** 2004. Effect of NaCl and KCl salts on the growth and solute accumulation of the halophyte *Atriplex nummularia*. – *Plant and Soil* 259: 163-168.
- ❖ **Reddy AR, Chaitanya K V, Vivekanandan M.** 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J. Plant Physiol.*, 161:1189-1202.
- ❖ **Requier Des Jardins M, Caron P.** 2005. La lutte contre la désertification : Un bien public mondial environnemental ? Des éléments de réponse. CSFD/ Dossier/1.P4.

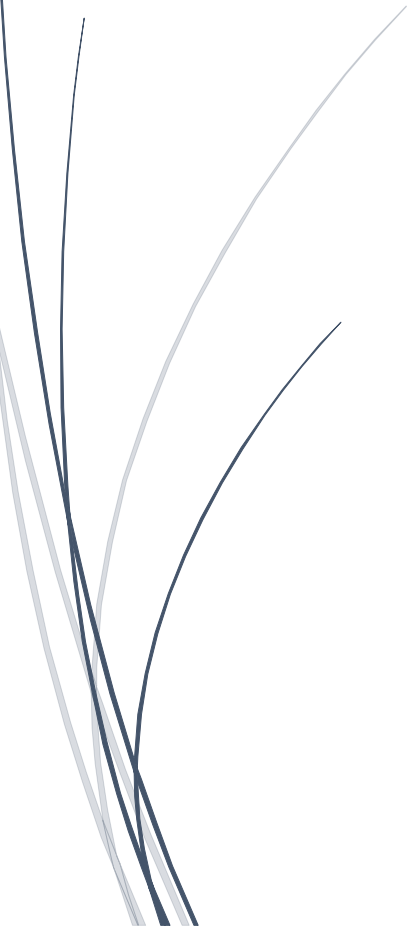
- ❖ **Reynolds MP, Ortiz-Monasterio JI, McNab A. 2001.** Application of Physiology in Wheat Breeding. Mexico, D.F.: CIMMYT: 101- 111.
- ❖ **Reynolds SG, Arias E. 2001.** Cactus (*Opuntia* spp.) as forage. Mondragon-Jacobo and Perez-Gonzalez Ed., 2001, FAO Plant production and protection paper N°169: 161p. FAO, Rome.
- ❖ **Righi M. 2006.** La culture aquaponique, PISTES, FSE, Université Laval.
- ❖ **Robert M, 1996.** Le sol : interface dans l'environnement ressource pour le
- ❖ **Robinson BH, Mills TM, Green S, Chancerel B, Clothier B, Fung LE et al. 2005.** Trace element accumulation by poplars and willows used for stock fodder. *New Zeland Journal of Agriculture Research*, 48, 489–497.
- ❖ **Rush D W, Epstein E. 1981.** Comparative studies on the sodium, potassium, and chloride relations of a wild halophytic and a domestic salt-sensitive tomato species. *Plant Physiol.* 68:1308-1313.
- ❖ **Sai Kachout S, Ben Mansoura A, Jaffel K, Leclerc J C, Rejeb M N, Ouerghi Z. 2009.** the effect of salinity on the growth of the halophyte atriplex hortensis (chenopodiaceae) Laboratoire de physiologie végétale, faculté des sciences de Tunis, campus universitaire, Tunisie December 2009.
- ❖ **Santalla M, Power JB, Davey MR. 1998.** Efficient in vitro shoot regeneration responses of *Phaseolus vulgaris* and *P. coccineus*. *Euphytica*. 102(2) : 195-202.
- ❖ **Saoudi. 2001.** Etude de la salinité et sodicité des sols du périmètre irrigué du Tadla. Mémoire de DESA, Université Chouaib Doukkali, Eljadida, Maroc, 50 p.
- ❖ **Savouré. 1995.** Dynamic proline metabolism: importance and regulation in water limited environments Govinal B. Bhaskara, Tsu-Hao Yang, and Paul E. Verslues* doi: 10.3389/fpls.2015.00484.
- ❖ **Schiels R, Burnett w. 1960.** Experimental Study of the Effect of Grafts in the Common Duct on Biliary and Hepatic Function J. Englebert Dunphy and Frederick O. Stephens.
- ❖ **Schwerthmann, Taylor. 1977.** Iron Mineral in Soil Environnement, J. B-Dixon, S.B.Weed (Ed.). Soil sci. Soc. Of America: 145- 180p.
- ❖ **Seemann J R, Critchley C. 1985.** Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour et Photosynthetic capacity of salt sensitive species, *Phaseolus communis* L. *Planta*. (164)151- 162.
- ❖ **Semmadi A, Rahmoune C. 1995.** Influence de la pollution atmosphérique sur les rendements agricoles. *Rev. Sci. Technol.* 6:31-41.
- ❖ **Servant JM. 1978.** La salinité dans le sol et les eaux : caractérisation et problèmes d'irrigation drainage : Bull. BRGM, Sect. 2, 123-142.
- ❖ **Shannon MC, McCreight JD. 1984.** Salt tolerance of lettuce introductions. *HortScience* 19, 673±675.
- ❖ **Silva-Ortega CO, AE Ochoa, Alfaro JA, Reyes-Agüero GA, Aguado-Santacruz, JF Jiménez-Bremont. 2008.** Salt stress increases the expression of P5CS gene and induces proline accumulation in cactus pear. *Plant Physiology and Biochemistry* 46:82-92.
- ❖ **Singh SP. 1999.** Improvement of small-seeded race Mesoamerica cultivars. In: Singh, S.P. ed. Common bean improvement in the twenty-first century. Kluwer Academic

Publishers. growing on freely drained soils of pH 6.5 in northern Tanzania. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 23, 787-792.

- ❖ **Skiredj A.** 1991. Contribution à l'amélioration de la production et de la fixation symbiotique du Haricot filet du Maroc, Thèse d'état, IAV, Hassan II, Rabat. 281p.
- ❖ **Smith CA, mac hardy WE.** 1982. The significance of tomatine in host response of susceptible and resistant tomato isoline infected with to races of *Fusarium oxysporum* f.sp. lycopersici. Phytopathology, 72: 415-419.
- ❖ **Soltani A, Hajji M, Grignon C.** 1990. Recherche de facteurs limitant la nutrition minérale de l'orge en milieu salé, Agronomie, vol. 10, pp. 857-866.
- ❖ **Stitou El Messari J.** 2002. Etude de la salinité des eaux souterraines des aquifères côtiers Martil-Alila et Smir : Intégration des méthodes hydrogéochimiques, géophysiques et isotopiques. Thèse Doctorat d'Etat Es Sciences. Univ Abdelmalek Essaâdi, Tétouan, Maroc, pp 281.
- ❖ **Sultana N, Ikeda T, Itoh R.** 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environ. Exp. Bot. (42) 211-220.
- ❖ **Tahri E, Belabed A, Sadki K.** 1997. Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Bulletin de l'Institut Scientifique. Rebat.21: 81 - 89 p.
- ❖ **Taiz L, Zeiger E.** 2010. Plant Physiology. MA, U.S.A., Sinauer Associates, Inc. Tome 2. Ed. France. Agricole, 511 P.
- ❖ **Thomassin H, Didier G, Proust D, Pantet A, Fontaine C, Dauger N, Lafoerst.** 2008. *Rencontre Universitaire de Génie Civil*. Nancy.
- ❖ **Tirilly Y, Bourgeois CM.** 1999. Technologie des légumes. Edit. La Maison Rustique, Paris 558p.
- ❖ **Tisdale SL, Nelson WL Beaton JD.** 1985. Soil Fertility and Fertilizers. The Macmillian Company. New York. Pp: 754.
- ❖ **Tocquin P, Corbesier L, Havelange A, Pieltain A, Kurtem E, Bernier G, Perilleux C.** 2003. A novel high efficiency, low maintenance, hydroponic system for synchronous growth and flowering of *Arabidopsis thaliana*. BMC Plant Biology 3: 2. 25 Jan.
- ❖ **Tremblin G. et Coudret A.** 1986. Salinité, transpiration et échanges de CO₂ chez *Halopeplis amplexicaulis*. Acta Oecologica. Vol .7(21), (4) 417-431.
- ❖ **Unesco.**1973. Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture.
- ❖ **Vincent R.** 2006. Recherche e t 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 WX, Vinocur B, Shoseyov O, Altman A.** 2001. Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. Acta Hort, 560: 285-292.

- ❖ **Weimberg R.** 1987. Solutes ajustements in leaves of two species of wheat at two different stages of growth in response of salinity. *Physiol. Plant.*, 70, 381-388.
- ❖ **Weiss DJ, Mason TFD, Zhao FJ, Kirk GJD, Coles BJ, Horstwo MSA.** 2005. Isotopic discrimination of zinc in higher plants. *NewPhytologist* 65,703-710.
- ❖ **Wortmann CS, Kirkby R.A, Eledu C A, Allen D.J.** 1998. Atlas of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Production in Africa. CIAT, Cali, Colombia.
- ❖ **Wyn Jones G, Gouston H.** 1991. Complettement a ryor conflicting approaches to Salinity DDU. Bulletin N° 23: 7-9.
- ❖ **Yancey P H, Clark M E, Hand S C, Bowlus R D, Somero G N.** 1982. Living with water stress: evolution of osmolyte systems. *Science* 217,1214 -1222.
- ❖ **Yeo A R,** 1983. Salinity resistance: physiologies and prices. *Physiologia Plantarum* 58: 214-222.
- ❖ **Zhifang G, Loesher W.** 2003. Expression of a celery mannose 6- phosphate reductase in *Arabidopsis thaliana* enhances salt tolerance and induces biosynthesis of both mannitol and a mannitol dimer. *Plant Cell Env.* 26, 275–283.
- ❖ **Zhu JK.** 2001. Plant salt tolerance. *Trends in plant Sci.*, 6, 66-71
- ❖ **Zid E, Grignon C.** 1991. Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, AUPELF-UREF. Jon Libbey Eurotext, Paris: 91- 108.
- ❖ **Zid E.** 1982. Relations hydriques dans la feuille de *Citrus aurantium* : effets de l'âge et de la salinité. *Rev. FAC.Sc. Tunis*, 2 : 195-205.

Annexes



Annexe n°01

Test de signification de Fisher (P=5%) du diamètre (μm) des vaisseaux du xylème racine au cours du développement des plantes de l'haricot sous le stress au (NaCl+CaCl₂) en fonction du temps sans bentonite.

Station Benabdelmalek Ramdane					
Racine sb		Témoin	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹
7 jours	R1	27.02	22.16	19.80	15.50
	R2	26.06	23.02	20.90	14.82
	R3	28.01	21.30	20.26	15.16
	m	27.03±4.26	22.16±3.81	20.32±3.52	15.16±4.02
21 jours	R1	26.99	17.50	13.30	08.63
	R2	27.2	17.80	13.52	08.80
	R3	27.21	17.65	13.44	09.06
	m	27.15±1.47	17.65±3.45	13.42±3.70	08.83±2.33
45 jours	R1	21.66	17.29	14.11	09.30
	R2	21.91	16.99	14.09	09.29
	R3	21.98	17.11	14.10	09.31
	m	21.85±3.04	17.13±2.90	14.10±3.27	09.30±3.01

Test de signification de Fisher (P=5%) du diamètre (μm) des vaisseaux du xylème racine au cours du développement des plantes de l'haricot sous le stress au (NaCl+CaCl₂) en fonction du temps avec bentonite.

Station Benabdelmalek Ramdane					
Racine ab		Témoin	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹
7 jours	R1	27.02	17.55	15.29	12.55
	R2	26.06	17.59	15.33	12.75
	R3	28.01	17.63	15.34	12.62
	m	27.03±4.26	17.59±1.04	15.32±3.80	12.64±1.38
21 jours	R1	28.12	21.99	19.30	16.99
	R2	28.13	22.01	19.29	17.04
	R3	28.14	22.03	19.31	17.06
	m	28.13±2.57	22.01±4.50	19.30±2.47	17.03±3.66
45 jours	R1	23.55	20.90	18.87	16.61
	R2	23.58	20.89	18.88	15.89
	R3	23.67	20.94	18.86	17.00
	m	23.60±3.00	20.91±2.15	18.87±1.80	16.50±3.88

Test de signification de Fisher (P=5%) du diamètre (μm) des vaisseaux du xylème caulinnaire au cours du développement des plantes de l'haricot sous stress au (NaCl+CaCl₂) en fonction du temps sans bentonite.

Station Benabdelmalek Ramdane					
Tige sb		Témoin	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹
7 jours	R1	22.77	18.69	14.92	09.99
	R2	22.79	18.65	14.96	10.65
	R3	22.78	18.64	14.97	12.33
	m	22.78±3.17	18.66±4.45	14.95±2.99	10.99±3.58
21 jours	R1	19.99	18.20	14.30	09.01
	R2	20.83	19.01	13.40	08.85
	R3	22.03	18.29	12.89	08.75
	m	20.95±1.87	18.50±1.37	13.53±3.88	08.87±1.90
45 jours	R1	19.00	16.73	12.51	08.93
	R2	18.80	16.23	12.47	08.06
	R3	18.78	15.94	12.43	06.98
	m	18.86±3.32	16.30±3.50	12.47±2.20	07.99±4.23

Test de signification de Fisher (P=5%) du diamètre (μm) des vaisseaux du xylème caulinnaire au cours du développement des plantes de l'haricot sous stress au (NaCl+CaCl₂) en fonction du temps avec bentonite.

Station Benabdelmalek Ramdane					
Tige ab		Témoin	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹
7 jours	R1	23.40	20.55	18.20	16.43
	R2	22.96	20.30	17.97	16.24
	R3	21.98	19.93	17.86	16.23
	m	22.78±3.17	20.26±1.87	18.01±2.90	16.30±3.30
21 jours	R1	24.04	22.00	19.20	16.01
	R2	23.96	21.55	18.99	15.98
	R3	21.03	19.60	18.96	15.71
	m	23.01±1.80	21.05±2.72	19.05±3.87	15.90±4.20
45 jours	R1	19.50	18.30	18.29	16.50
	R2	18.81	17.91	17.60	15.91
	R3	18.78	17.88	16.97	15.62
	m	19.03±3.20	18.03±3.43	17.62±1.20	16.01±1.60

Test de signification de Fisher (P=5%) du diamètre (μm) des vaisseaux du xylème racine au cours du développement des plantes de l'haricot sous le stress (NaCl+CaCl₂) sans bentonite en fonction du temps.

		Station Sidi Lakhdar			
Racine sb		Témoïn	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹
7 jours	R1	22.80	18.38	10.01	09.01
	R2	24.76	19.01	12.30	08.00
	R3	20.93	17.87	08.02	07.02
	m	22.83±1.87	18.42±1.33	10.11±2.19	08.01±1.17
21 jours	R1	24.10	20.70	10.30	09.28
	R2	23.80	19.70	09.53	07.90
	R3	21.13	17.05	08.76	04.96
	m	23.01±2.11	19.15±1.05	09.53±1.88	07.38±1.67
45 jours	R1	23.01	21.30	10.01	08.02
	R2	20.90	19.10	09.30	07.30
	R3	18.94	11.50	04.75	05.65
	m	20.80±1.19	17.30±2.03	08.02±1.65	06.99±2.42

Test de signification de Fisher (P=5%) du diamètre (μm) des vaisseaux du xylème racine au cours du développement des plantes de l'haricot sous le stress au (NaCl+CaCl₂) avec bentonite en fonction du temps.

		Station Sidi Lakhdar			
Racine ab		Témoïn	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹
7 jours	R1	23.42	23.50	20.38	18.20
	R2	25.30	20.90	18.92	17.50
	R3	19.77	19.80	14.91	13.20
	m	22.83±3.16	21.40±2.24	18.07±1.57	16.30±0.65
21 jours	R1	24.05	24.30	18.99	15.34
	R2	23.90	22.73	17.31	14.79
	R3	21.05	20.09	12.87	13.58
	m	23.00±2.13	22.37±1.18	16.39±2.18	14.57±1.99
45 jours	R1	22.59	21.50	15.94	15.30
	R2	20.90	19.21	14.80	13.92
	R3	20.11	18.90	13.64	11.46
	m	21.20±1.19	19.87±3.07	14.82±1.17	13.56±1.13

Test de signification de Fisher (P=5%) du diamètre (μm) des vaisseaux du xylème caulinaire au cours du développement des plantes de l'haricot sous stress au ($\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$) sans Bentonite en fonction du temps.

		Station Sidi Lakhdar			
Tige sb		Témoin	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹
7 jours	R1	25.71	22.95	21.86	11.33
	R2	24.82	23.83	20.73	10.95
	R3	22.97	20.45	16.60	07.39
	m	25.50±2.20	22.41±1.47	19.73±1.33	09.89±3.13
21 jours	R1	24.01	22.31	18.01	12.10
	R2	23.99	20.95	16.39	10.05
	R3	21.33	18.03	15.01	08.18
	m	23.11±1.77	20.43±2.13	16.47±2.15	10.11±2.06
45 jours	R1	26.02	21.02	17.30	15.02
	R2	24.99	20.36	16.98	14.91
	R3	24.44	17.63	13.03	11.41
	m	25.13±2.19	19.67±1.06	15.77±1.63	13.78±1.09

Test de signification de Fisher (P=5%) du diamètre (μm) des vaisseaux du xylème caulinaire au cours du développement des plantes de l'haricot sous stress au ($\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$) avec Bentonite en fonction du temps.

		Station Sidi Lakhdar			
Tige ab		Témoin	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹
7 jours	R1	26.02	24.01	23.07	19.73
	R2	25.99	22.89	20.19	18.17
	R3	21.49	21.53	18.60	16.19
	m	24.50±2.34	22.81±1.88	20.62±3.11	18.03±1.99
21 jours	R1	24.92	20.13	17.36	14.15
	R2	23.58	19.09	16.93	12.99
	R3	21.88	18.95	14.34	14.17
	m	23.46±1.21	19.39±1.67	16.21±2.24	13.89±2.16
45 jours	R1	22.51	19.22	15.89	11.37
	R2	20.32	18.99	14.23	10.94
	R3	19.96	16.66	13.65	08.20
	m	20.933±2.10	18.29±2.18	14.59±1.13	10.17±1.57

Test de signification de Fisher (P=5%) du diamètre (μm) des vaisseaux du xylème racine au cours du développement des plantes de l'haricot sous le stress au (NaCl+CaCl₂) sans bentonite en fonction du temps.

		Station Achaacha			
Racine sb		Témoin	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹
7 jours	R1	28.21	26.31	21.28	18.38
	R2	27.01	25.92	20.93	17.67
	R3	25.85	24.63	20.04	17.44
	m	27.03±1.33	25.62±1.66	20.87±3.61	17.83±1.13
21 jours	R1	28.19	22.08	20.11	17.83
	R2	26.35	21.93	19.93	16.28
	R3	24.39	18.48	17.20	15.00
	m	26.31±2.16	20.83±2.34	19.08±2.67	16.37±2.75
45 jours	R1	24.61	22.77	19.21	17.03
	R2	23.42	21.83	18.83	16.92
	R3	22.05	18.61	16.23	12.43
	m	23.36±2.21	21.07±1.83	18.09±1.37	15.46±3.10

Test de signification de fisher (P=5%) du diamètre (μm) des vaisseaux du xylème racine au cours du développement des plantes de l'haricot sous le stress au (NaCl+CaCl₂) avec Bentonite en fonction du temps.

		Station Achaacha			
Racine ab		Témoin	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹
7 jours	R1	28.36	26.31	24.03	17.83
	R2	27.13	25.19	23.27	16.21
	R3	25.60	23.50	22.63	16.93
	m	27.03±3.18	25.00±2.33	23.31±3.16	16.99±4.21
21 jours	R1	26.92	23.92	24.01	17.38
	R2	25.30	21.56	22.83	16.21
	R3	23.68	18.51	15.17	12.10
	m	25.30±1.16	21.33±1.67	20.67±1.99	15.23±3.37
45 jours	R1	25.39	22.59	20.18	15.02
	R2	24.82	22.19	19.56	15.00
	R3	24.52	21.19	18.25	10.96
	m	24.91±1.57	21.99±2.15	19.33±2.32	13.66±1.07

Test de signification de Fisher (P=5%) du diamètre (μm) des vaisseaux du xylème caulinnaire au cours du développement des plantes de l'haricot sous stress au ($\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$) sans bentonite en fonction du temps.

		Station Achaacha			
Tige sb		Témoïn	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹
7 jours	R1	27.30	24.39	23.81	17.32
	R2	26.98	23.82	22.15	16.86
	R3	23.84	22.98	20.13	13.40
	m	26.04±1.57	23.73±2.45	22.03±3.10	15.86±1.47
21 jours	R1	23.91	20.83	19.32	15.06
	R2	22.86	19.91	18.21	14.93
	R3	19.44	18.87	17.28	13.42
	m	22.07±3.07	19.87±1.37	18.27±2.12	14.47±2.08
45 jours	R1	23.02	17.93	14.28	11.16
	R2	22.19	16.86	13.29	10.93
	R3	17.82	13.84	12.36	09.47
	m	21.01±1.89	16.21±0.18	13.31±1.13	10.52±2.37

Test de signification de Fisher (P=5%) du diamètre (μm) des vaisseaux du xylème caulinnaire au cours du développement des plantes de l'haricot sous stress au ($\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$) avec Bentonite en fonction du temps.

		Station Achaacha			
Tige ab		Témoïn	50meq.l ⁻¹	100meq.l ⁻¹	200meq.l ⁻¹
7 jours	R1	27.39	25.93	22.96	15.36
	R2	26.42	24.82	21.34	14.90
	R3	24.31	22.24	19.24	12.85
	m	26.04±1.57	24.33±2.57	21.18±2.32	14.37±0.15
21 jours	R1	26.30	24.91	21.90	12.71
	R2	25.42	23.62	19.86	10.33
	R3	23.49	21.97	19.20	08.85
	m	25.07±1.36	23.50±1.47	20.32±2.37	10.63±2.15
45 jours	R1	22.81	21.32	18.91	10.31
	R2	21.96	20.71	17.86	10.24
	R3	18.41	15.45	16.21	08.79
	m	21.06±2.03	19.16±2.11	17.66±1.87	09.78±3.37

Annexe n°02

	Anions				Cations			
	CL ⁻	CO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	BASO ₄ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺
Témoin	1.0±0.2	1.0±0.1	21.84±0.93	0.05±0.01	01.27±0.02	0.21±0.03	0.83±0.11	2.94±0.12
50 ab	1.1±0.2	1.0±0.23	12.84±0.94	0.03±0.01	01.73±0.13	0.10±0.03	0.42±0.02	2.05±0.22
100	6.2±0.1	1.0±0.3	08.56±0.10	0.02±0.01	04.82±0.30	0.15±0.02	0.59±0.09	3.00±0.26
200	7.5±0.1	1.0±0.15	12.84±0.04	0.03±0.01	08.26±0.25	0.20±0.10	0.69±0.11	0.44±0.03
50 sb	1.2±0.2	1.0±0.07	08.56±0.15	0.02±0.01	01.43±0.09	0.16±0.02	0.62±0.04	1.65±0.14
100	1.5±0.1	1.0±0.18	12.84±0.12	0.03±0.005	04.04±0.12	0.18±0.02	0.70±0.10	2.25±0.11
200	2.0±0.3	1.0±0.03	12.84±0.14	0.03±0.01	06.73±0.11	0.17±0.02	0.73±0.11	2.53±0.09

Variation des ions en fonction des différents traitement (Station de Benabdelmalek Ramdane)

Variation des ions en fonction des différents traitement (Station de Sidi Lakhdar)

	Anions				Cations			
	CL ⁻	CO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	BASO ₄ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺
Témoin	03±0.27	1.0±0.17			01.42±0.04	0.18±0.09	0.53±0.06	1.92±0.03
50 ab	04±0.09	1.50±0.26	12.84±0.88	0.03±0.010	04.39±0.24	0.16±0.02	0.43±0.03	1.26±0.07
100	03.50±0.46	1.50±0.20	04.28±0.12	0.01±0.001	02.56±0.25	0.13±0.02	0.74±0.05	2.01±0.17
200	04±0.70	1.50±0.26	04.28±0.14	0.01±0.005	04.91±0.24	0.11±0.03	0.65±0.02	1.95±0.07
50 sb	06.50±0.56	1.0±0.20	04.28±0.09	0.01±0.004	06.39±0.23	0.13±0.02	0.75±0.04	0.68±0.07
100	02±0.16	1.0±0.26	08.56±0.10	0.02±0.012	07.08±0.36	0.10±0.02	0.71±0.02	2.65±0.06
200	03±0.36	1.0±0.26	04.28±0.38	0.01±0.015	08.56±0.48	0.11±0.02	0.79±0.03	3.25±0.06

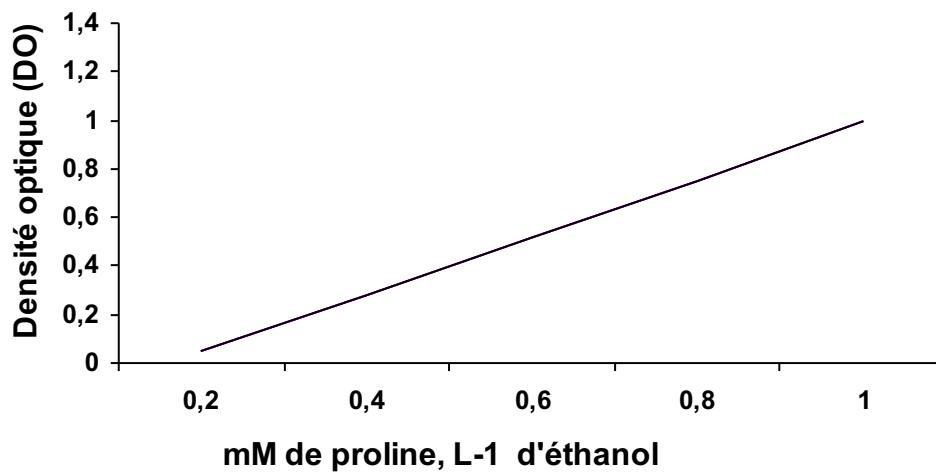
Variation des ions en fonction des différents traitement (Station de Achacha)

	Anions				Cations			
	CL ⁻	CO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	BASO ₄ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺
Témoin	1.0±0.19	1.0±0.26	04.28±0.06	0.01±0.001	0.87±0.12	0.12±0.04	0.33±0.09	1.37±0.06
50 ab	0.50±0.04	1.50±0.26	08.56±0.21	0.02±0.005	08.08±0.03	0.14±0.01	0.65±0.10	3.82±0.07
100	3.0±0.19	1.0±0.22	08.56±0.20	0.02±0.004	03.41±0.14	0.11±0.02	0.49±0.16	1.04±0.03
200	1.10±0.78	1.0±0.44	08.56±0.68	0.02±0.004	08.26±0.10	0.11±0.06	0.50±0.04	4.52±0.39
50 sb	1.10±0.26	1.50±0.25	08.56±0.25	0.02±0.004	03.86±0.16	0.12±0.03	0.58±0.08	1.87±0.13
100	2.0±0.06	1.0±0.26	08.56±0.42	0.02±0.004	07.13±0.03	0.20±0.04	0.84±0.05	0.47±0.07
200	4.0±0.07	1.0±0.37	12.84±0.12	0.03±0.006	09.56±0.22	0.23±0.04	0.95±0.09	6.50±0.08

Annexe n°03

	50 (n=3)		100 (n=3)		200 (n=3)		F1 (n=12) concentration			F2 (n=18) Bentonite		Analyse de variance			
	ab	sb	ab	sb	ab	sb	50	100	200	Sans Bentonite	Avec Bentonite	F1	F2	F3	Interaction F1xF2xF3
P1	0,15 ± 0,03	0,15 ± 0,08	0,19 ± 0,09	0,28 ± 0,16	0,32 ± 0,27	0,43 ± 0,31	0,13 ± 0,26	0,21 ± 0,11	0,28 ± 0,12	0,19	0,15	NS	NS	**	NS
P2	0,5 ± 0,22	0,34 ± 0,21	0,61 ± 0,32	0,6 ± 0,61	0,64 ± 0,4	0,52 ± 0,29	0,34 ± 0,18	0,38 ± 0,3	0,4 ± 0,22	0,42	0,32	NS	NS	**	Interaction F1xF2xF3 NS

Courbe d'étalonnage de la proline



Annexe n°04

Conductivité des trois stations

Station benabdelmalek Ramdane

		Sans bentonite				Avec bentonite		
		Témoin	50 meq.l ⁻¹	100 meq.l ⁻¹	200 meq.l ⁻¹	50 meq.l ⁻¹	100 meq.l ⁻¹	200 meq.l ⁻¹
CE μs/cm	1	0,09	0,07	0,12	0,15	0,14	0,17	0,22
	2	0,08	0,10	0,14	0,16	0,12	0,19	0,23
	3	0,13	0,13	0,13	0,17	0,10	0,18	0,21
	M ± σ	0,10±0,17	0,10±0,05	0,13±0,09	0,16±0,15	0,12±0,16	0,18±0,12	0,22±0,33

Station sidi Lakhdar

		Sans bentonite				Avec bentonite		
		Témoin	50 meq.l ⁻¹	100 meq.l ⁻¹	200 meq.l ⁻¹	50 meq.l ⁻¹	100 meq.l ⁻¹	200 meq.l ⁻¹
CE μs/cm	1	0,05	0,06	0,13	0,16	0,07	0,09	0,20
	2	0,07	0,09	0,11	0,14	0,09	0,08	0,18
	3	0,06	0,07	0,12	0,15	0,14	0,13	0,16
	m ± σ	0,06±1,02	0,07±0,05	0,12±0,50	0,15±0,17	0,10±1,07	0,10±0,01	0,18±0,09

Station Achaacha

		Sans bentonite				Avec bentonite		
		Témoin	50 meq.l ⁻¹	100 meq.l ⁻¹	200 meq.l ⁻¹	50 meq.l ⁻¹	100 meq.l ⁻¹	200 meq.l ⁻¹
CE μs/cm	1	0,05	0,06	0,10	0,17	0,05	0,16	0,20
	2	0,03	0,03	0,13	0,13	0,05	0,14	0,17
	3	0,04	0,06	0,10	0,15	0,04	0,16	0,20
	m ± σ	0,04±1,02	0,05±0,87	0,11±0,03	0,15±0,07	0,08±1,02	0,16±0,09	0,19±0,22

Annexe n°05

Longueur des tiges				Longueur des racines				Tige		Racine	
								moyenne	ecartype	moyenne	ecartype
25	29	26	27	11	10,5	9,5	10	26,75	1,70	10,25	0,64
27	20	24	14	9	14	10,5	12	21,25	5,61	11,375	2,13
15	16	13,5	17	12,5	9	6	4	15,375	1,49	7,875	3,70
17	22	17	18	9	8	8,5	7	18,5	2,38	8,125	0,85
12,5	11,5	15	19	10	9	8	7	14,5	3,34	8,5	1,29
21,5	15	13	15,5	8	9	7	7,8	16,25	3,669	7,95	0,82
12,02	12,6	10,5	13	6	5	4,5	6,5	12,03	1,34	5,5	0,99

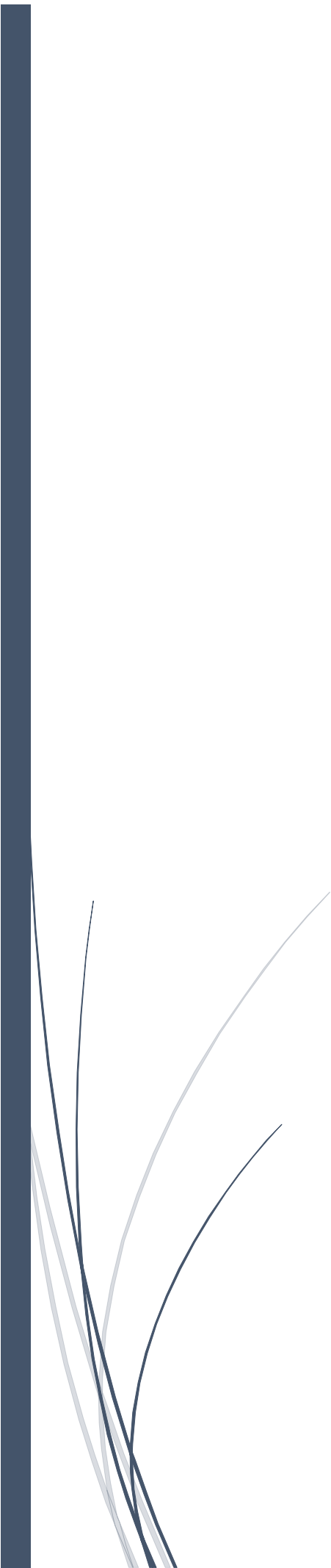
Hydroponique - Racine

	Longueur des racines			moyenne	Ecartype
Temoin	25	20	22	22,33333333	2,51661148
NaCl 100meq	12	13	11	12	1
NaCl 200meq	6,5	5	5,5	5,66666667	0,76376262
CaCl₂ 100meq	13	15	16	14,6666667	1,52752523
CaCl₂ 200meq	11	8	9	9,33333333	1,52752523
Melange100meq	13	14	15	14	1
melange200meq	11	12	9	10,6666667	1,52752523

Hydroponique – Tige

	Longueur des tiges			moyenne	Ecartype
Témoin	50	48	53	50,33333333	2,51661148
NaCl100meq	38	34	38	36,6666667	2,30940108
NaCl 200meq	33	37	33	34,33333333	2,30940108
CaCl₂ 100meq	49	40	41	43,33333333	4,93288286
CaCl₂ 200meq	28	30	38	32	5,29150262
Melange100meq	29	33	31	31	2
melange200meq	25	28	26	26,33333333	1,52752523

Travaux Scientifiques



Travaux scientifiques

Publication

- **Tahri Miloud, Chadli Rabah, Bouzid Khadidja, Flitti Abdelkarim.** Search for physiological and anatomical parameters of salt tolerance in beans (*Phaseolus vulgaris* L.). International Journal of Biosciences | IJB |, Vol. 11, No. 4, p. 184-197, 2017.

Communications Nationales orale

- **Tahri Miloud, Chadli Rabah.** Réponse physiologique et anatomique de *phaseolus Vulgaris* L. au stress de la salinité sur substrats sableux amendés en bentonite. IV^{èmes} Journées Scientifiques de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université de Mostaganem, Algérie), 09 et 10 Avril 2017. (Attestation de participation).
- **Tahri M, Chadli R, Larid M, Guellal A, Benziane M.** Recherche de paramètres de tolérance de la salinité chez le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) Sur substrat amendé en Bentonite. VIII^{èmes} Journées Scientifiques de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université de Mostaganem, Algérie), 09 et 10 Avril 2018. (Attestation de participation).

Communications Nationales par affiche

- **Tahri Miloud, Chadli Rabah.** Réponse physiologique et anatomique de *phaseolus Vulgaris* L. au stress de la salinité sur substrats sableux amendés en bentonite. VI^{èmes} journées scientifiques de la faculté des sciences de la nature et de la vie (Université de Mostaganem, Algérie), 27 et 28 Mai 2016. (Attestation de participation).

Response of physiological and anatomical of phaseolus VulgarisL.au stress of salinity on substrates Sandy almonds in bentonite

Abstract: In arid and semi arid areas, soil salinization is a major ecological constraint. Unlike salt tolerant halophytes, most plants are stored in the group of glycophytes, whose physiological and biochemical processes are affected in the presence of salt. Soils rich in sodium chloride are characterized by an abundance of Na^+ and Cl^- . Na ions disrupt the absorption of cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+}), so that the excessive accumulation of chlorine reduces the absorption of anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- CO_3^{2-}) essential for growth and development of plants in particular, nitrates, nitrites and sulfates. without bentonite soils irrigated with nutrient solution and saline, have a high content of sulfates 50 meq.l^{-1} ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$).

The impacts of salinity on development and yield of plants are many and difficult to prioritize. Sodium and chloride ions enter the plants through the roots and are transported via the xylem to the stems and leaves. Here they are either stored, type plants "includes" or just selected and revéhiculés by the phloem to the roots of plants such as "excluser". These mechanisms of tolerance or sensitivity are experimentally investigated on a local variety (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under increasing salt diet ($50\text{-}100\text{-}200 \text{ meq.gl}^{-1} \text{ NaCl+ CaCl}_2$) on sandy soil with or without bentonite.

Salinity causes an increased accumulation of proline. The levels of this amino acid increases with as the salt concentration increases and also depending on the organ and stage of growth. This accumulation of nitrogen compound is more evident in the leaf parts in the parts root. Thus the production of proline is particularly significant that the intensity of treatment is important and that the leaves are young in under conditions of intense cell multiplication.

Changes in proline content change in proportions varying according to the low soil types and the station studied.

The data show that exposure of seedlings of (*Phaseolus vulgaris* L.), salinity led to a fall in growth mainly from the aerial part, but with a bentonite amended soil, seedlings of the three stations show a high adaptability. The effect of salinity is not uniform for all organs. This depressive effect on growth was accompanied by changes cationic. The accumulation of compatible solutes also induces a decrease in water potential and thus allows the absorption of water from the environment.

Key words: Soil, Salt stress, Bentonite, Proline, *Phaseolus vulgaris* L.



Search for physiological and anatomical parameters of salt tolerance in beans (*Phaseolus vulgaris* L.)

Tahri Miloud^{*1}, Chadli Rabah², Bouzid Khadidja³, Flitti Abdelkarim⁴

¹Department of Agronomy, University AbdelhamidIbn Badis Mostaganem, Algeria

²Department of Biology, University AbdelhamidIbn Badis Mostaganem, Algeria

³Department of Environmental Sciences University, Djillali Liabes Sidi Bel-Abbes, Algeria

⁴Laboratory for Chemistry, Department of Biology, University AbdelhamidIbn Badis Mostaganem, Algeria

Key words: Salinity, Hydroponics, *Phaseolus vulgaris*, Morphological parameters, Anatomical

<http://dx.doi.org/10.12692/ijb/11.4.184-197>

Article published on October 27, 2017

Abstract

The mechanisms of tolerance or sensitivity are experimentally investigated on a local variety of *Phaseolus vulgaris* L. grown under a growing regime of NaCl and CaCl₂ salts (control, 100 and 200 meq.gl⁻¹ NaCl + CaCl₂), under semi-controlled conditions. Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) appears as a plant more or less sensitive to salt during its growth. The action of salt results in decreased stem and root growth in *Phaseolus vulgaris* L. The plants cultured in salty medium have morphological characteristics different from those of the controls, because the results obtained show that the growth of the stem and the root are not affected by the nutrient solution (control) by cons to high concentrations of salt (200meq.L⁻¹, NaCl, CaCl₂, mixture), the stem shows a marked regression, while the plants treated at the 100meq.L⁻¹ concentrations exhibit stress sensitivity characteristics. The action of salinity is illustrated by a reduction in the length of the stem in the lens (benaceur, 2001) and can result in a stunting of the plant until complete dwarfism (Belkhodjaand Soltani, 1992). When the plants receive saline from NaCl, CaCl₂ and the mixture (NaCl, CaCl₂) 100meq.L⁻¹, the diameter of xylem vessels is reduced as compared to the diameter of the xylem of the plants sprayed with the nutrient solution. After 40 days of growth, the diameter of xylem vessels decreased sharply after just one day of stress, this diameter slowly decreased in plants treated with 100 and 200meq.L⁻¹NaCl, CaCl₂ and (NaCl + CaCl₂). At the level of the stems, the results clearly show the action of the salt on the conductive tissue compared to the control, results in an increase in the number of the xylem vessel and the writing of its diameter. The diameter of the vessels of the root xylem and compared with that of the stems and much more affected by the action of the salt since it shows a strong reduction compared to the vessels of plants watered to the nutrient solution and whatever saline treatment to bring or Adure of exposure. Most of the plants are able to adapt to saline environments. This adaptation is accompanied by morphological, anatomical and biochemical changes (Kylin, 1975;Paljakouf, 1988). The biomass of the aerial part hydroponically grown is more developed and greater compared to culture on substrate. It is advisable in the last 20 years to use the technique of hydroponic cultivation for several economic advantages. Understanding these phenomena will be very useful for better conduct of natural plant communities, as well as for defining the ideal characteristics for plants of agricultural importance

* Corresponding Author: Tahri Miloud ✉ tahri1m@yahoo.fr

Introduction

Plants respond to environmental constraints by numerous changes, revealing the multifactorial character of mechanisms of tolerance and adaptation to abiotic stresses. The response to the salt of plant species depends on the species itself, its variety, the salt concentration and the stage of development of the plant (Bennaceur *et al.*, 2001). Under stressful conditions, plants can react with physiological mechanisms (Kylin and Quatrano, 1975; Parida and Das, 2005) and biochemical's (Brugnoli and Björkman, 1992) involving an enzymatic activity (Erdei *et al.*, 1980). The most common criteria for salt tolerance identification include yield, vigor, foliar damage and plant size. Other tolerance indices have been proposed, based on specific physiological characteristics, including ion accumulation or the production of specific metabolites. Nevertheless, salt tolerance is usually determined in terms of growth or yield (Aceve *et al.*, 1975).

Plant responses to saline stress have been studied by the use of anatomical, ecological, physiological and molecular approaches (Ashraf, 2002). Morphological and anatomical modifications at the plant level are able to minimize the undesirable effects of salt stress (Poljakoff, 1988). The bean *Phaseolus vulgaris* L. is a saline sensitive plant is a source of dietary proteins in many developing countries. As for the agricultural sector, beans represent the third largest crop of legumes in the world (La Haye and Epstein, 1971.). Among bean legumes, beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are the subject of numerous studies dealing exclusively with agronomic aspects in relation to salinity, while physiological and anatomical aspects remain to be done.

Materials and methods

Plant material

Experiments were carried out on bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.) (variety provided by the Es-senia plant ecophysiology laboratory, Oran-Algéria). Medium-sized seeds were kept in a refrigerator at 7°C for a long time, in anticipation of dormancy. This work was carried out in the botanical laboratory at the University of Mostaganem-Algéria, the conditions of cultivation were kept semi-controlled.

For use, these seeds underwent a first bath in 8% sodium hypochlorite solution for three minutes to disinfect and remove impurities. They are then rinsed several times with distilled water to remove all traces of chlorine. The seeds, once dried under ambient conditions, are placed in a petri dish for germination. From the first germinations, the seedlings are carefully transplanted into pots while waiting for the application of the saline solution.

Preparation of culture

The culture is carried out in plastic jars with a capacity of 2 kg, a diameter of 15 cm and a height of 20 cm, the bottom of which is lined with gravel in order to ensure good drainage. The sand used as a substrate was recovered at the beach of the Sidi Madjdoub station (wilaya of Mostaganem-Algéria), then it was sieved, treated with the spirit of salt, and finally, a silver nitrate test was carried out in order to check the purity of the substrate which led to the clarity of the solution, several successive washing operations with running water and then with distilled water before potting. The pots are then filled with a mixture of sand and compost respectively 1v / 4v.

Culture substrate

Composition potting compost based on bark compost of deciduous and coniferous trees horticultural peat litter of peat mix of vegetable materials extruded fiber wood fertilizer based on calcium and magnesium, fertilizers (Table 1).

Determination of retention capacity

To determine the irrigation dose, we took a sample of 100g (P1) of sand previously dried in the open air that we put in a small pot that we soaked to the saturation point; 24 hours after we weighed (P2).

P1 = Wet weight

P2 = Dry Weight

Hydroponics Techniques

Cultivation on BAC the cultivation boards with a wire-mesh bottom are placed above a watertight tank filled with nutrient solution in which the roots that draw water and mineral elements (Franzpenning's field) plunge.

Germination

The seeds are germinated in glass cubes of a diameter of 19 cm. The boxes are packed with 4-5 filter pads moistened with 20 ml of distilled water. A maximum of ten seeds are deposited on the filters, spaced so as to avoid an overlap of the roots which could lead to a break at the time of transplanting. The labelled cans are then placed in the light at ambient temperature of about 20°C. We considered a germinated seed when the emergence and the growth of the radical appear (Dussert *et al.*, 2002).

Transplanting

At the end of a week after the first leaves appear (4-5 leaf stage), the seedlings are carefully transplanted at the rate of one seedling per pot and then placed in a greenhouse. Every two days, these seedlings are watered with the Hoagland (1938) nutrient solution diluted 1/1000th and reduced to 30% of the retention capacity.

Preparation of watering solutions

The nutrient solution

During the rearing of the plants, watering is done every two days to the nutrient solution. It consists of a set of stock solutions of micro elements and macro elements, reported in Table 2.

Preparation of the saline solution

Two types of saline solutions were prepared (Table 3).

Irrigation

Before sowing, we pre-irrigated with distilled water, after germination, we watered the nutrient solution

with volumes corresponding to 30% of the retention capacity (ie 36.54 ml) for stage 1-2 leaves. At the 3-4 leaf stage, we increased the irrigation dose to 30% of the retention capacity.

This contribution is renewed every two days.

Saline stress

Salt shock is applied to the plants as they have reached the 4-5 leaf stage.

Study of plant material

The study of the plant material was carried out by observations and biometric measurements on roots and stems, anatomical observations on stems and roots and finally the determination of some cations in the stems and roots.

Anatomical study

The anatomical study consists in making cross-sections of rods and roots, using a razor blade and then staining them. This method is based on the use of certain colorants: methyl green, Congo red.

It makes it possible to specifically stain the cell walls according to their chemical composition (Roger and al., 2001).

Results

Effect of salinity on stem growth

After 21 days of growth under saline stress stem lengths were determined (Table 4). The results show that the length of the stems decreases markedly each time the salinity increases.

Table 1. Compost composition.

Corposants	Concentration
Dry matter	20%
Organic matter	10%
pH	5-6.5
Electric conductivity (Ec)	750µs/cm
NPK	14-16-18 0.5kg/m ³
Net mass	6Kg

The height of the plants increases in parallel for the plants treated with the salts, the maximum height is reached for the 100meq concentration, whereas at 200meq, the plants are lower. The action of the salt is predictable compared to the control (26.75 cm), the treatments show a very low growth at the level of the stems, especially for high concentrations 200mq. (15.37 - 14.5 - 12) cm.

Effect of salinity on root growth

The results show that root lengths decrease markedly whenever salinity increases.

The action of the salt is predictable compared to the control (11.37cm), the treatments exhibit very low growth in the roots, especially for high concentrations of 200mq. (7.95 -7.5-5.5 cm).

Table 2. Composition of the Hoagland nutrient solution (1938).

Composants	Nomenclature	weight g/l
Potassium nitrate	KNO ₃	191.90
Calcium Nitrate	(NO ₃) ₂ Ca ₄ H ₂ O	129.80
Ammonium nitrate	NO ₃ NH ₄	210.00
Magnesium sulfate	SO ₄ Mg ₇ H ₂ O	61.50
Monopotassium phosphate x	SO ₄ Mg 7H ₂ O	54.40
Di-potassium hydrogen phosphate	PO ₄ K ₂ H 3H ₂ O	34.23
Manganese Chloride	Cl ₂ Mn 4H ₂ O	01.00
Copper sulphate x	CuSO ₄ 5H ₂ O	0.17
zinc sulphate	ZnSO ₄ 7H ₂ O	0.22
Boric acid	H ₃ BO ₃	2.86
Ammonium molybdate	Mo ₇ O ₂₄ (NH ₄) ₇ H ₂ O	0.28
Ferric EDTA complex	C ₁₀ H ₁₂ FeN ₂ NaO ₈	0.05

Table 3. Preparation of the NaCl and CaCl₂ Salt Solutions.

Corposants	100meq /L	200meq/L
Na Cl g/L	5.85	11.7
CaCl ₂ g/L	7.35	14.7

Anatomical study

Microscopic examination of the transverse strokes in the median root region and the stem basal region after staining by the double-staining technique (methyl green / Congo red) shows that the structural changes vary according to the mode treatment of *Phaseolus vulgaris* L. The results show that stress is

reflected in stems and roots by a reduction in the number and size of conductive vessels (Zamane *et al.*, 2005). The roots represent slight structural changes in the xylem tissue. At high concentrations of salts 200 meq. (NaCl + CaCl₂), the xylem cells show a slight reduction in diameter, as well as thickening of the walls.

Table 4. Variation in stem length (cm) as a function of different salt-concentrations.

Salt	Control	Na Cl		CaCl ₂		Na Cl + CaCl ₂	
		100	200	100	200	100	200
Length (cm)	26.75±1.7	21.25±5.6	15.37±1.4	18.5±2.4	14.5±3.4	16.25±3.6	12±0.9

At the stem level, the results show the action of the salt on the conductive tissue compared to the controls. The basal zones reveal a reduction in the surface area occupied by xylem tissue at high concentrations of 200mg, NaCl, CaCl₂, and mixing both. At high magnification, the same rods clearly

illustrate a relaxation in the arrangement of their conductive tissue and in particular the xylem.

This reaction results in a reduction in the number of large vessels and the thickening of their walls and this according to the treatment provided.

Table 5. Root length (cm) with function of different concentration at a given time (day).

	Control	Na Cl		CaCl ₂		Na Cl + CaCl ₂	
		100	200	100	200	100	200
Length (cm)	11.37±2.1	10.25±0.64	7.95±1.2	8.5±3.7	7.5±0.8	8.1±3.7	5.5±0.9

Table 6. Change in stem length (cm) as a function of different concentration at a given time (day).

	Control	Na Cl		CaCl ₂		Na Cl + CaCl ₂	
		100	200	100	200	100	200
Length (cm)	50.33±2.5	46.66±2.3	34.33±2.3	43.33±4.9	32.±5.3	31±2	26.33±1.5

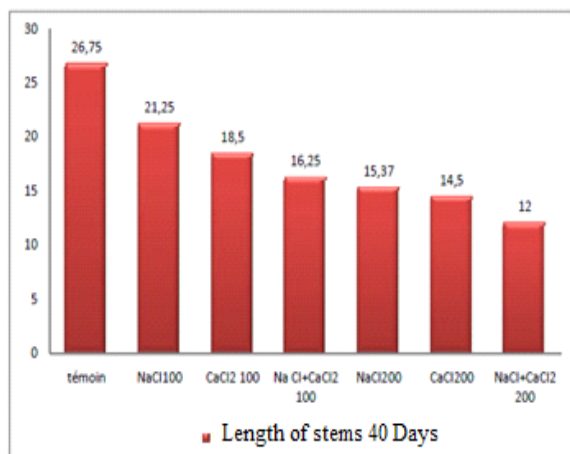
The results obtained show that whatever the treatment provided, the root presents large vessels compared to the stem control (nutrient solution) treated (100meq, NaCl) (200meq, NaCl).

Cross section of the stems and roots of *Phaseolus vulgaris* L., carried out by hand and colored by double staining (methyl green / Congo red) after 21 days sampling and treatment.

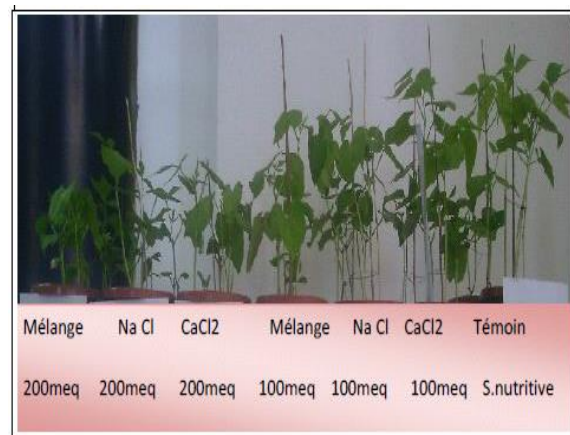
Table 7. Root length variation (cm) a function of different concentration at a given time (day).

	Control	Na Cl		CaCl ₂		Na Cl + CaCl ₂	
		100	200	100	200	100	200
Length (cm)	22.33±2.5	12±1.0	10.66±0.7	14.66±1.5	9.33±1.5	11±1.0	7.66±1.52

Control, vessels with large diameter large area occupied by the conductive tissue. 100meq.L-1, showing large vessels 200meq.L-1 showing a reduction in the diameter of the vessels, with increasing in number (Fig. 7,9,11).

**Fig. 1.** The effect of salinity on the growth of *Phaseolus vulgaris* L. stems.

In addition, control, vessels with large diameter large area occupied by the conductive tissue. 100meq.L-1, presenting large vessels 200meq. L-1 with large vessels with thickening of the wall (Fig. 8, 10, 12).

**Fig. 2.** Effect of salt stress on the growth of bean *Phaseolus vulgaris* L.

Effect of salinity on stem growth (hydroponics)

Effect of salinity on root growth

The results show that the lengths of the stems and the roots decrease markedly each time the salinity increases. The action of the salt is predictable compared to the control; the treatments show a very low growth in the stems and roots, especially for high concentrations 200mq.

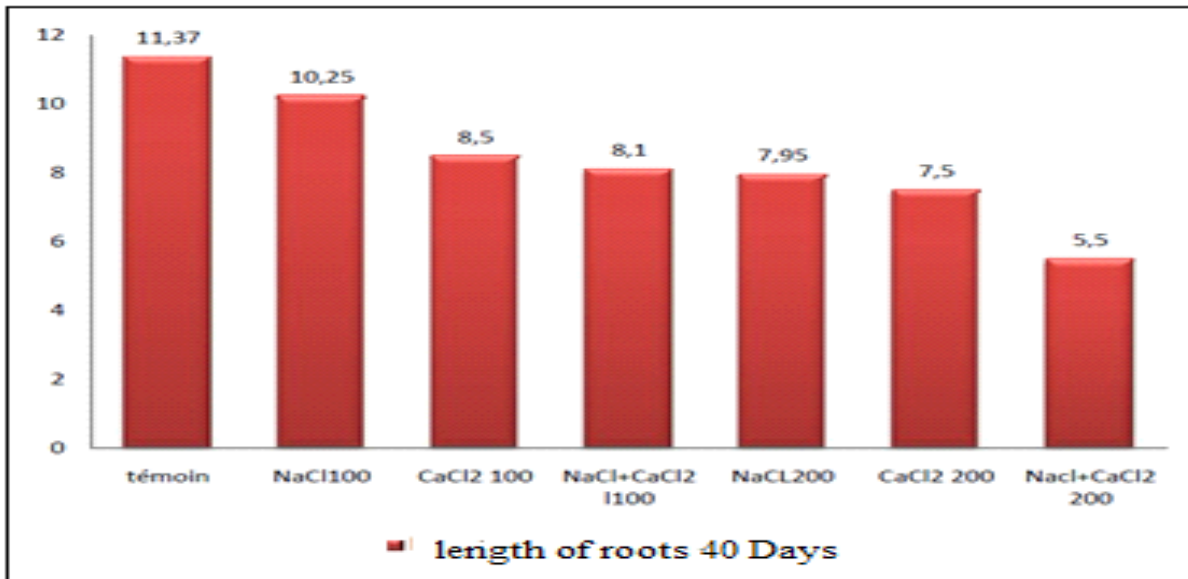


Fig. 3. The effect of salinity on the growth of *Phaseolus vulgaris* L. roots.

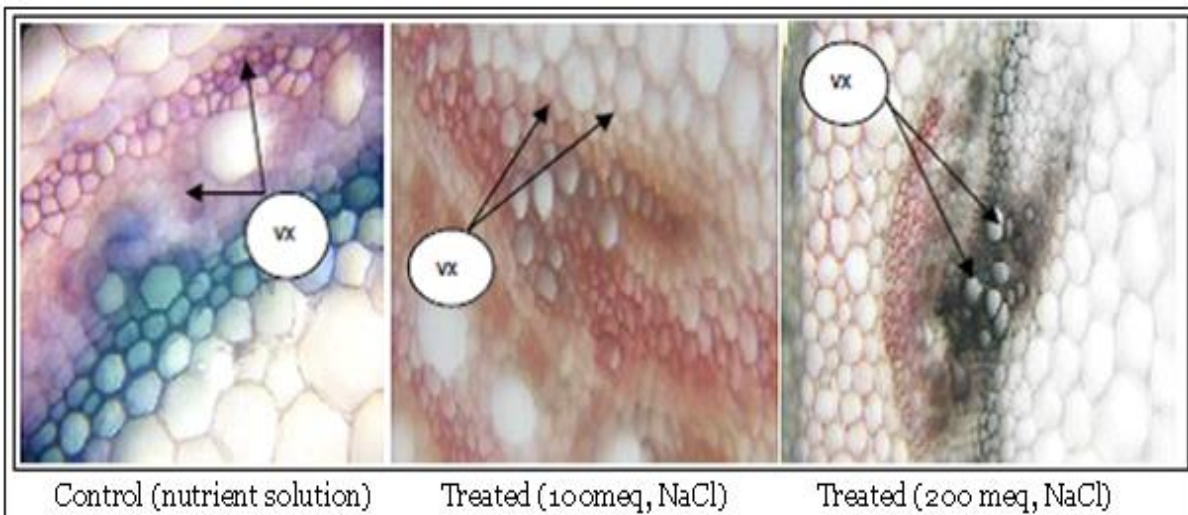


Fig. 4. Anatomy of 40-day-old *Phaseolus vulgaris* L stems grown on the substrate Vx: vessels.

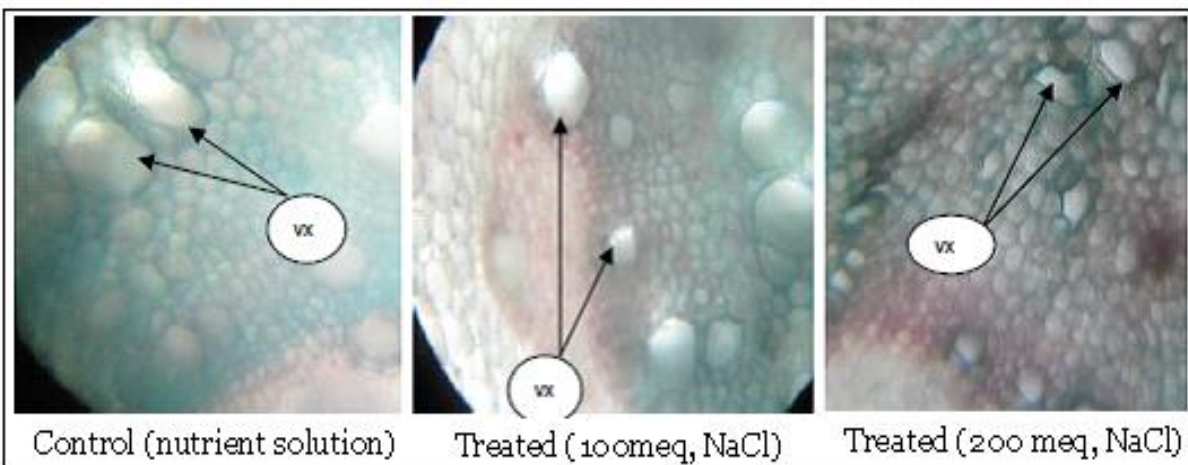


Fig. 5. Anatomy of 40-day-old *Phaseolus vulgaris* L. roots grown on the substrate Vx: vessels.

Cross-section of the stems and roots of *Phaseolus vulgaris* L, carried out freehand and colored by double staining (methyl green/Congo red) after sampling of 21 days and treatment.

Control, vessels with large diameter large area occupied by the conductive tissue. 100meq.L⁻¹,

showing large vessels, 200meq. L⁻¹ showing a reduction in the diameter of the vessels, with increasing in number (Fig. 13,15,17). In addition, control, large diameter vessels large area occupied by conductive tissue.100meq.L⁻¹, with large vessels, 200meq.L⁻¹ with large vessels with thickened wall (Fig. 14,16,18).

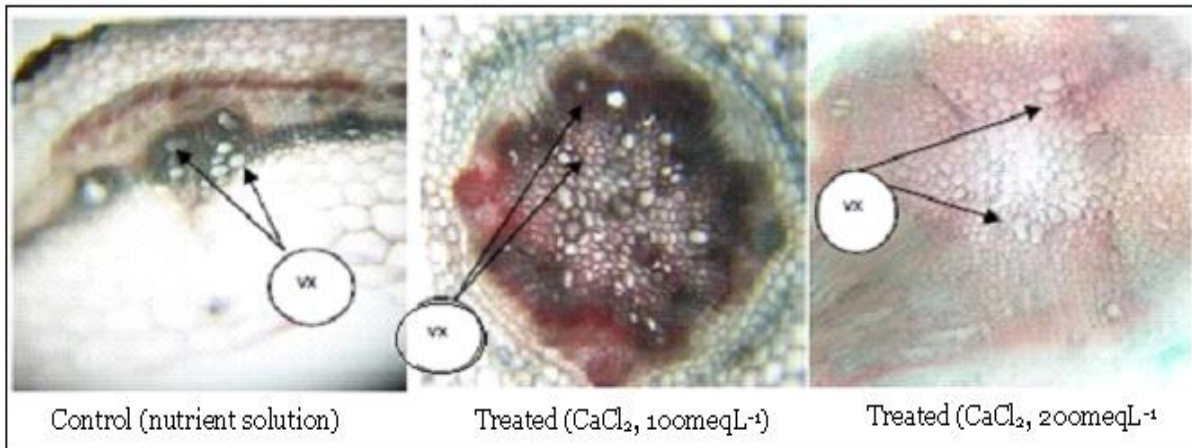


Fig. 6. Anatomy of 40-day-old *Phaseolus vulgaris* L. stems grown on the substrate. Vx: vessels.

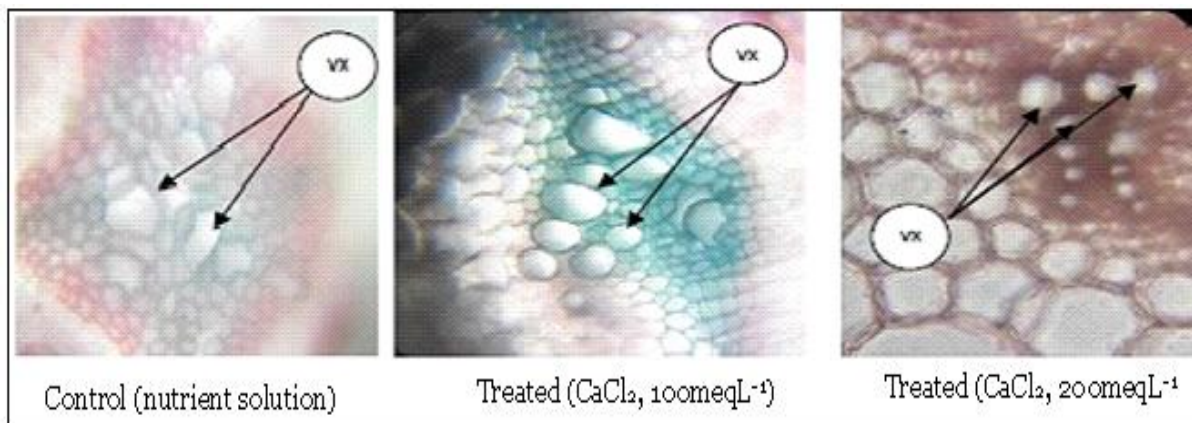


Fig. 7. Anatomy of 40-day-old *Phaseolus vulgaris* L. root grown on the substrate. Vx: vessels.

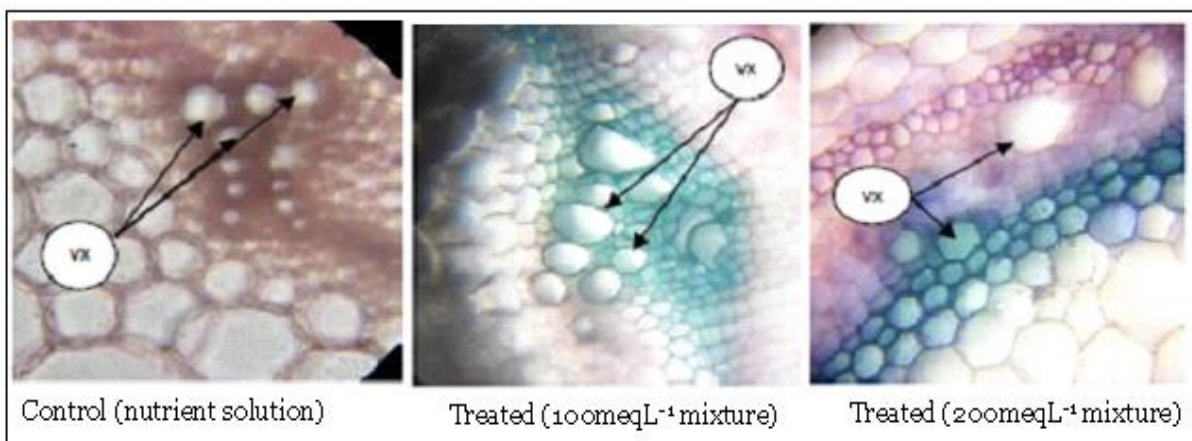


Fig. 8. Anatomy of 40-day-old *Phaseolus vulgaris* L. stems grown on the substrate. Vx: vessels.

Discussion

The plants cultured in salty medium have morphological characteristics different from those of the controls, because the results obtained show that the growth of the stem and the root are not affected

by the nutrient solution (control) by cons to high concentrations of salt (200 meq. L⁻¹, NaCl, CaCl₂, mixture), the stem shows a marked regression, while the plants treated at the 100meq.L⁻¹ concentrations exhibit stress sensitivity characteristics.

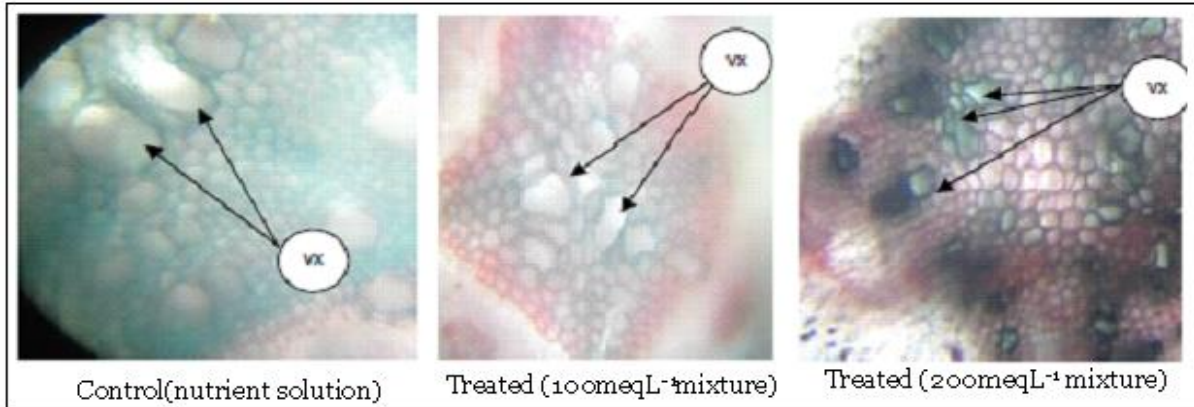


Fig. 9. Anatomy of 40-day-old *Phaseolus vulgaris* L. root grown on the substrate. Vx: vessels.

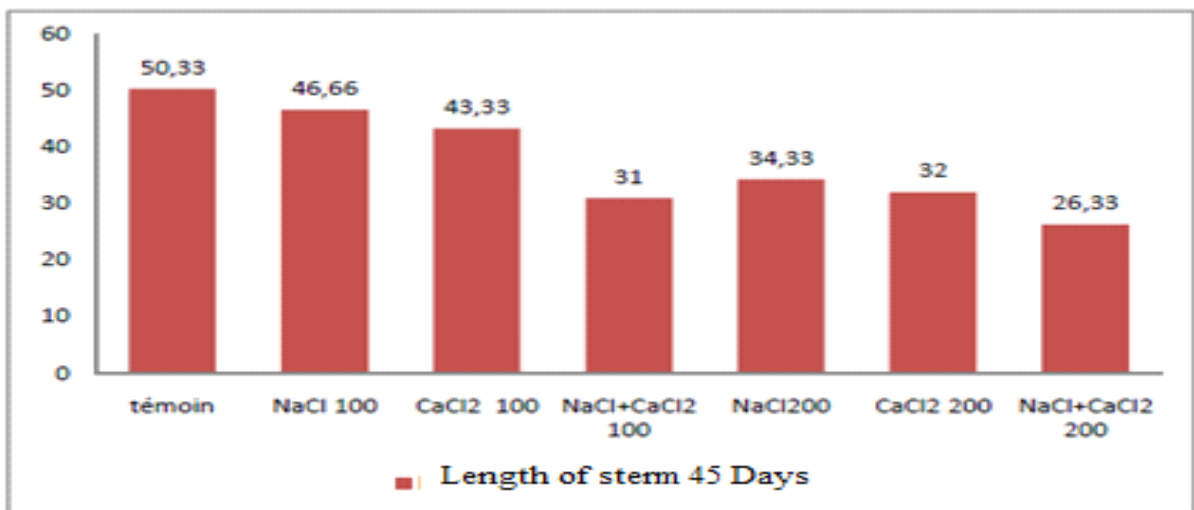


Fig. 10. Histogram shows the effect of salinity on stem growth *Phaseolus vulgaris* L.



Fig. 11. Effect of saline stress on the growth of beans *Phaseolus vulgaris* L. (hydroponics).

The effect of salinity is illustrated by a decrease in the length of the stem in the lens (Ben Taarit *et al.*, 2010) and can result in a stunting of the plant to complete dwarfism (Brun, 1980). The analysis of the observations results shows the existence of an

influence of the salinity on the variation of the diameter of the xylem vessels.

The diameter of the xylem is considerably large compared to the salt-treated plants.

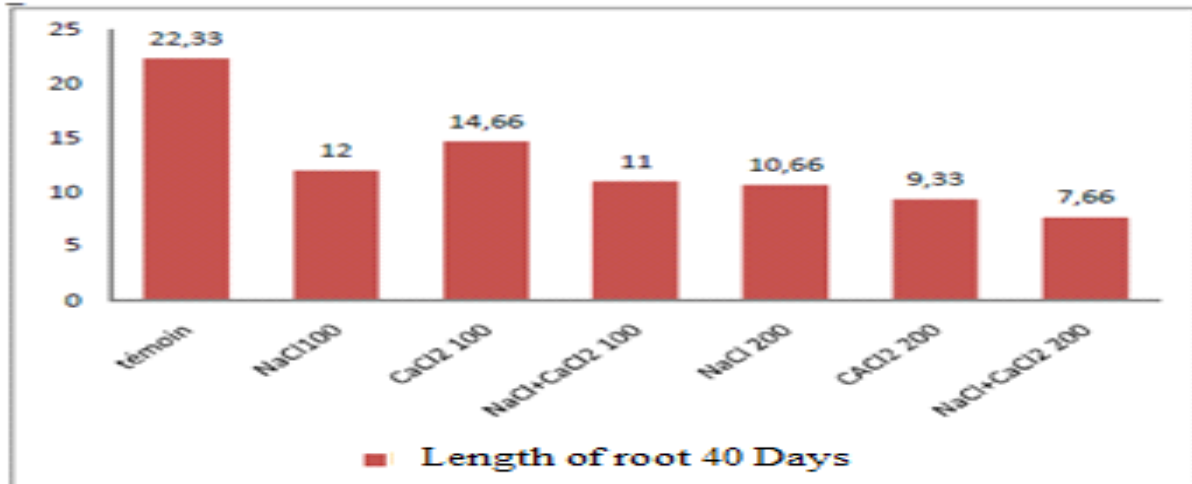


Fig. 12. Histogram shows the effect of salinity on root growth *Phaseolus vulgaris* L.

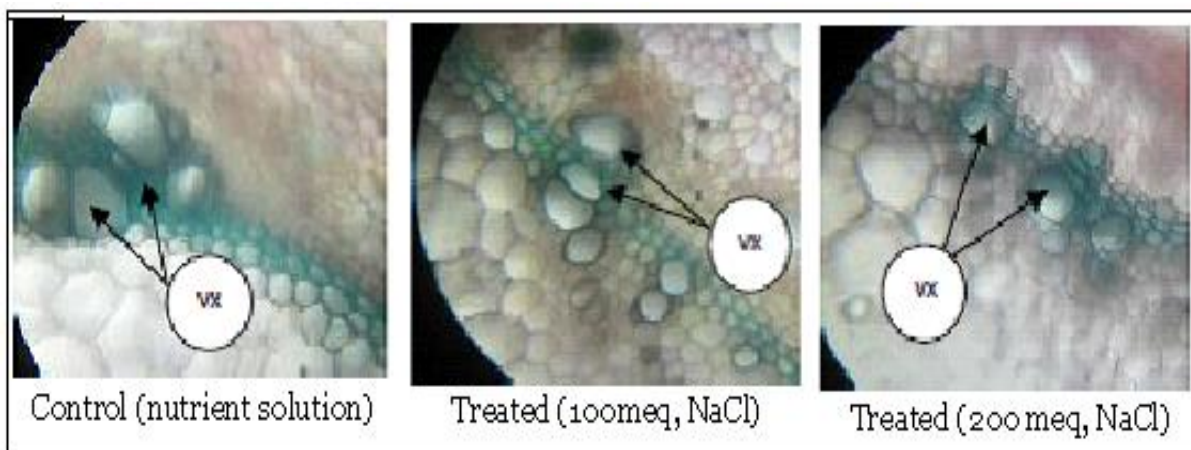


Fig. 13. Anatomy of 40-day-old *Phaseolus vulgaris* L. stems grown in hydroponics.

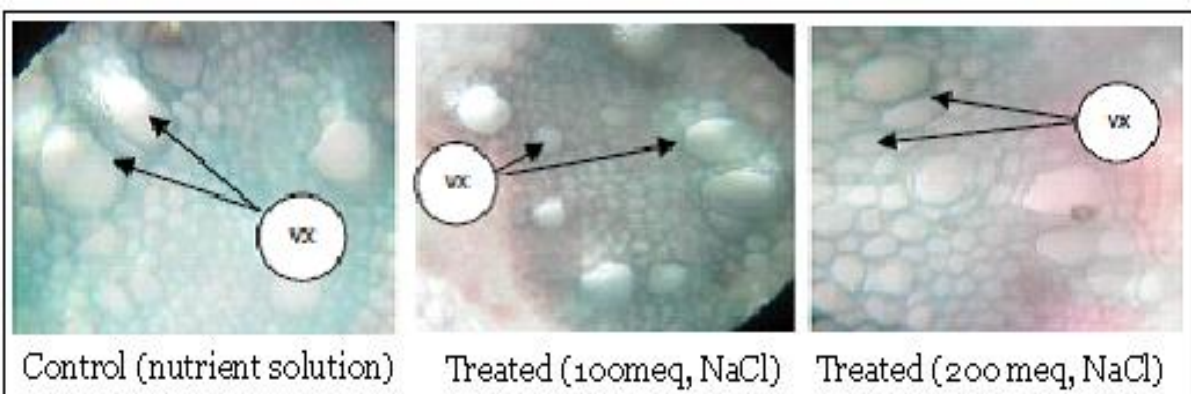


Fig. 14. Anatomy of 40-day-old *Phaseolus vulgaris* L. roots grown in hydroponics.

When plants receive saline from NaCl, CaCl₂ and the mixture (NaCl, CaCl₂) 100meq.L⁻¹, the diameter of xylem vessels is reduced compared to the diameter of the xylem of plants watered to the nutrient solution (Fig. 7,8,9). After 40 days of growth, the diameter of

xylem vessels decreased sharply after just one day of stress, this diameter slowly decreased in plants treated with 100 and 200meq.L⁻¹NaCl, CaCl₂ and (NaCl + CaCl₂).

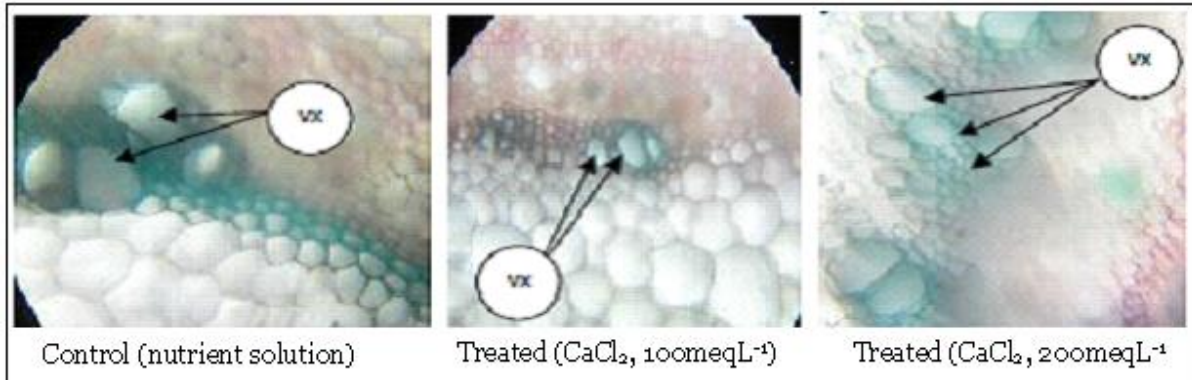


Fig. 15. Anatomy of 40-day-old *Phaseolus vulgaris* L. stems grown in hydroponics.

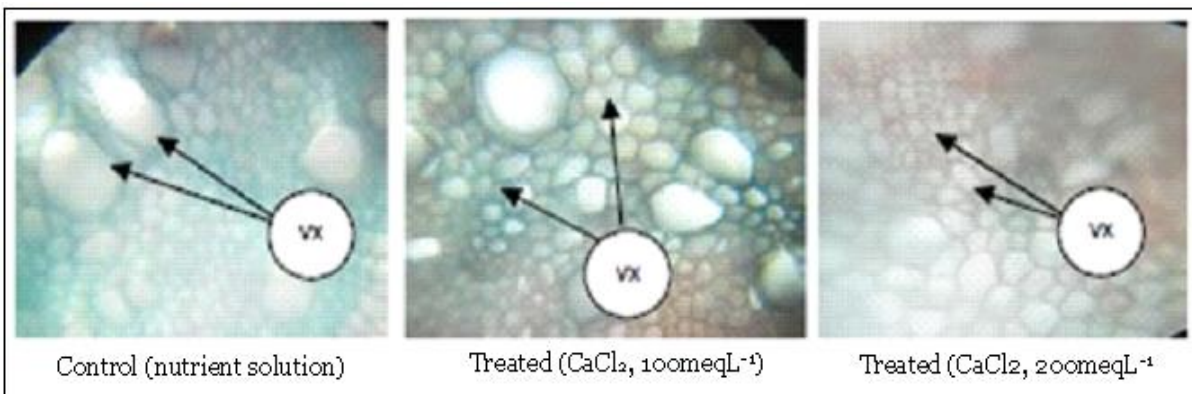


Fig. 16. Anatomy of 40-day-old *Phaseolus vulgaris* L. roots grown in hydroponics.

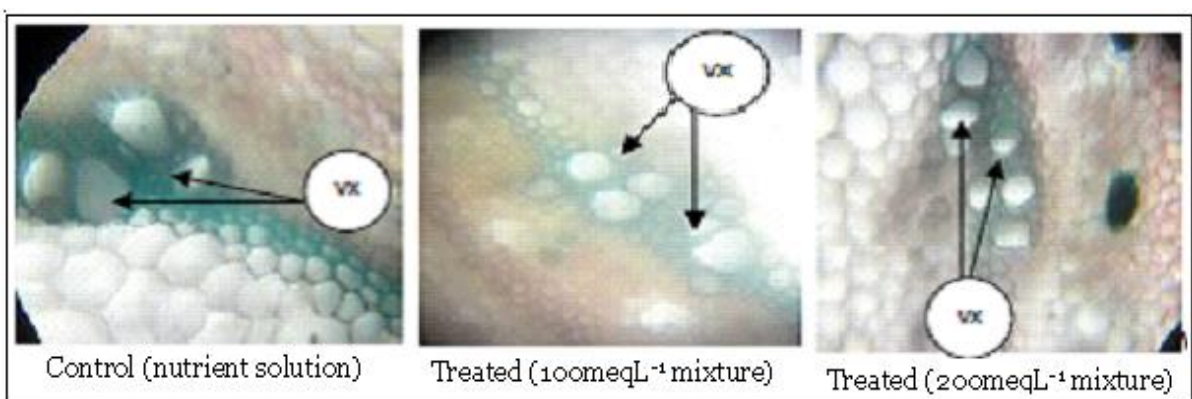


Fig. 17. Anatomy of 40-day-old *Phaseolus vulgaris* L. stems grown in hydroponics.

At the level of the stems, the results clearly show the action of the salt on the conductive tissue compared to the control, which results in an increase in the number of xylem vessels and in the writing of their

diameter. At high magnification, the same rod clearly illustrates a relaxation in the arrangement of their conductive tissue and especially the xylem.

This reaction results in a reduction in the number of large vessels and in the thickening of their walls and according to the treatment treated plants treated with 200 meq. l of NaCl, CaCl₂ and mixture present after 40 days of growth a very reduced diameter compared to the plants (7,8,9) and xylem vessels in stressed plants continue to decrease but considerably.

The diameter of the vessels of the root xylem and compared with that of the stems and much more affected by the action of the salt since it shows a strong reduction compared to the vessels of plants watered to the nutrient solution and whatever saline treatment to bring or l (8,10,12).

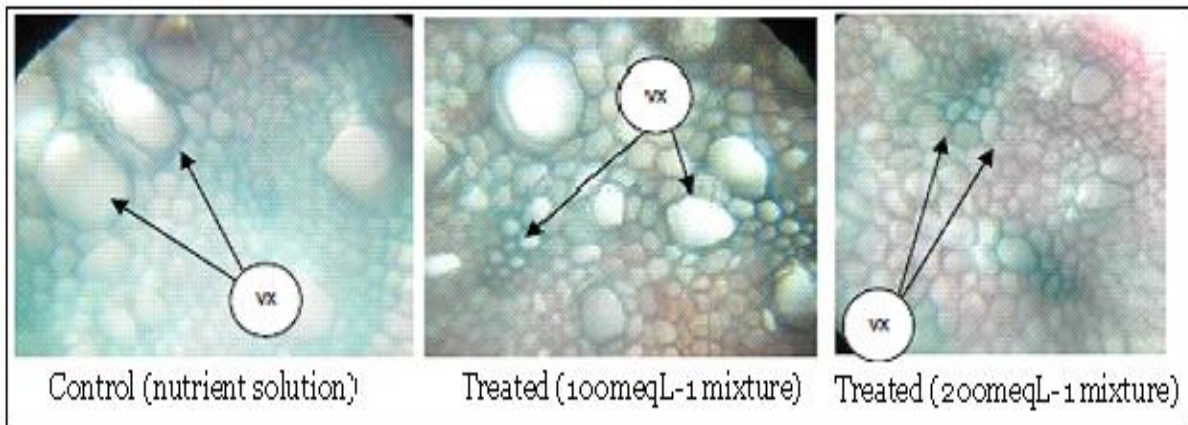


Fig. 18. Anatomy of 40-day-old *Phaseolus vulgaris* L. roots grown in hydroponics.

The results show that whatever the treatment, the root has large vessels compared to the stem. This behavior of the root can be explained as a mode of adaptation with respect to salinity. Most plants are capable of adapting to saline environments. This adaptation is accompanied by morphological, anatomical and biochemical changes (Kylin, 1975; Paljakouf, 1988). In non-halophytes, there is great variability in responses, classified from species sensitive to tolerant (Mansour *et al.*, 2003). On the other hand, salinity appears to modify the thickening of the primary xylem cell walls and pericyclic cellulose fibers of the main stem (Belkhouja and Bidai, 2004).

The presence of salt in the plant, particularly NaCl, leads to structural modifications of the cell walls, which proves a similarity of effects and of water stress (Munns, 2002).

Conclusion

The bean (*Phaseolus vulgaris* L.) appears as a plant more or less sensitive to salt during its growth. Salt action results in decreased stem and root growth in *Phaseolus vulgaris* L. for high salt concentrations, stems and roots are more affected and their length decreases.

The salt may also cause the modification of the number and diameter of the xylem vessels in plants or sometimes create modifications in the structure of the vessels. On the other hand, most plants are capable of adapting to saline environments, this adaptation is accompanied by morphological, anatomical and biochemical changes. At the level of the stems, the results show well the action of the salt on the conductive tissue compared to the control.

Acknowledgements

We gratefully acknowledge Chadli Rabahand Larid Mohamed (Faculty of life and natural sciences, University of Mostaganem) and Iddou Abdelkader (laboratory for chemistry, Department of chemistry, University Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem .Algeria) for their logistical assistance and support. We wish also to thank Flitti Abdelakarim and Benbouziane Djillali (Department of Biologie, University of Mostaganem) for his kind identification of plant material.

References

- Aceve NE, Stolzy LH, Mehuys GR.** 1975. Effects of soil osmotic potential produced with tow salt species on plant water potential, growth and grain yield of wheat. *Plant and Soil.* **42**, 619-627. <http://doi.org/10.1007/BF00009947>

- Ashraf M.** 1994. Breeding for salinity tolerance in plants, Crit. Rev. Plant Sci. **13**, 17–42.
<http://doi.org/10.1080/07352689409701906>
- Ashraf M.** 2002. Salt tolerance of cotton: some new advances, Crit. Rev. Plant Sci. **21**, 1–30.
<http://doi.org/10.1080/0735260291044160>
- Baker NR, Rosenqvist E.** 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. JExp Bot **55**, 1607-1621.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erh196>
- Belkhodja M, Soltani N.** 1992. Responses of the bean (*Vicia faba* L.) to salinity: study of the germination of some lines determinate, Bulletin of the Botanical SocietyFrance. Letters botanical. **139**, 4.
<http://dx.doi.org/10.1080/01811797.1992.10824972>
- Belkhodja M, Bidai Y.** 2004. Réponse des graines d' *Atriplexhalimus* L. à la salinité au stade de la germination. Sécheresse, **15(4)**, 331-335.
- Belkhodja M.** 1996. Action de la salinité sur les teneurs en proline des organes adultes de trois lignées de fève (*Vicia faba*) au cours de la leur développement. Acta. Bot. Gallica, **143**, 21-28.
- Belkhodja M, Soltani N.** 1992. responses of the bean (*Vicia faba* L.) to salinity: study of the germination of some lines determinate, Bulletin of the Botanical Society of France. Letters botanical, **139**, 4.
<http://dx.doi.org/10.1080/01811797.1992.10824972>
- Ben Taarit M, Msaadaa K, Hosni K, Marzouk B.** 2010. Changes in fatty acid and essential oil composition of sage (*Salvia officinalis* L.) leaves under NaCl stress. Food Chem. **119**, 951-956
<http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.055>
- Ben Taarit M, Msaadaa K, Hosni K, Hammami M, Kchouk ME, Marzouk A.** 2009.Plant growth, essential oil yield and composition of sage (*Salvia officinalis* L.) fruits cultivated under salt stress conditions. Ind Crop Prod.**30**, 333-337.
<http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.06.001>
- Bernstein L, François L, Clark RA.** 1974. Interactive effects of salinity and fertility on yield of grains and vegetables. Agron. J. **66**, 412-421.
- Bourgou S, Bettaieb I, Saidani M, Marzouk B.** 2010. Fatty acids, essential oil and phenolics modifications of black cumin fruit under NaCl stress conditions. J Agri FoodChem. **58**, 12399-12406. Epub 2011 Jun 16.
<http://doi.org/10.1002/jsfa.4513>.
- Brugnoli EO, Björkman.** 1992. Growth of cotton under continuous salinity stress: Influence on allocation pattern, stomatal and nonstomatal components of photosynthesis and dissipation of excess light energy. J. Planta. **187**, 335-347.
<http://doi.org/10.1007/BF00195657>
- Brugnoli EM, Lauteri.** 1991. Effect of salinity on stomatal conductance, chlorure de sodium, physiol. Vég. **18**, 505-515.
- Brun A.** 1980. Effects compared to different concentrations of NaCl on germination, growth and composition of some populations of annual alfalfas of Algeria. Thèses doct. 3rd cycle Montpellier.
- Chakib A, Labhilili M, Brahmi K, Jlibene M, Nasrallah N, Filali-Maltouf A.** 2002. Water and photosynthetic adaptations of durum and wheat tender salt austress. CR Biol. **325**, 1097-1109.
- Chadli R, Belkhodja M.** 2007.Mineral responses in the bean (*Vicia faba* L.) to the Stress saline. Department of biology faculty of Science University of Mostaganem Algeria laboratory of Physiology plant Faculty of Sciences University of Oran Algeria.
- DeoR, Kanwar JS.** 1969.Effect of saline irrigation waters on the growth and chemical composition of wheat. J. Indian. Soc. Soil Sci. **16**, 365-370
<http://dx.doi.org/10.4067/S071895162016005000031>
- Dussert S, Chabrillange N, Engelmann F.** 2002. Cryopreservation; plant biotechnology: laboratory techniques: Europe media duplication S.A; Edition TEC and DOC France.105-120.

- EL Midaoui M, Talouizte A, Benbella M, Berville A.** 1999a. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to nitrogen and potassium deficiency. *Helia*. **22(30)**, 139-148.
http://doi.org/www.anafide.org/doc/128/8%20HTE__136__Midaoui.pdf
- El Midaoui M, Talouizte A, Benbella M, Serieys H, Bervillé A.** 1999b. Response of five sunflower genotypes (*Helianthus annuus* L.) to different concentrations of sodium chloride. *Helia*. **22(30)**, 125-138.
www.anafide.org/doc/128/5%20HTE__136__El_Midaoui.pdf
- Erdei L, Stuiver GEC, Kupier PJC.** 1980. The effect of salinity on lipid composition and on activity of Ca²⁺ and Mg²⁺ simulated ATPase in salt-sensitive and salttolerant *Plantago* Species. *Physiol. Plant*. **49**, 315-319.
<http://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1980.tb02670>
- Flowers TJ.** 2004. Improving crop salt tolerance. *JExp Bot*. **55**, 307-331.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erh003>
- Greenway H, Munns R.** 1980. Mécanismes of salt tolerance in non halophytes. *Ann Rev. plant. Physiol*. **31**, 140-190.
- Hepler PK, Wayne RO.** 1985. Calcium and plant development. *Annu. Rev. Plant Physiol*. **36**, 397-439.
- Hoagland DR, Arnon DI.** 1938. The water-culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Exp. Sta. Cir. Vol.* **347**, 1- 39.
- Hoffman GJ, Jobs JA.** 1978. Growth and water relations of cereal crops as influenced by salinity and relative humidity. *Agron. J.* **70**, 765-769.
- Hubac C, et Guerrier D.** 1972. Study of the composition of acids amino of two *Carex setifolia* Godion, little resistant. Effect of exogenous input. *Oecol. Plant*. **7(2)**, 147-155.
- Johannes E, Brosnan JM, Sanders D.** 1991. Calcium channels and signal transduction in plant cells. *Bio Essays*. **13**, 331-336.
<http://doi.org/10.1002/bies.950130704>
- Kylin A, Quatrano RS.** 1975. plants in Saline environments. *Ecological studies. Analysis and Synthesis*. 147-167. Springer, Berlin.
<http://doi.org/10.1007/978-3-642-80929-3>
- La Haye PA, Epstein E.** 1971. Calcium and salt toleration by bean plants. *Plant physiol*. **25**, 213-218.
<http://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1971.tb01430.x>
- Laribi B, Bettaieb I, Kouki K, Sahli A, Mougou A, Marzouk B.** 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. *Ind Crop Prod*. **30**, 372-379.
- Laribi B, Kouki K, Sahli A, Mougou A, Marzouk B.** 2011. Essential oil and fatty acid composition of a Tunisian caraway (*Carum carvi* L.) seed ecotype cultivated under water deficit. *Adv Environ Biol*. **5(2)**, 257-264.
- Leblebici Z, Aksoy A, Duman F.** 2009. Influence of salinity on the growth and heavymetal accumulation capacity of *Spirodela polyrrhiza* (Lemnaceae). *Turk J Biol*. **35**, 215-220.
<http://doi.org/10.3906/biy-0906-13>
- Levigneron A, Lopez F, Vansuyt G, Berthomieu P, Fourcroy P, Casse-Delbart F.** 1995. Plant salt stress. *Cah Agric*. **4**, 263-73.
- Mansour MM, Salama FZ, Ali M, Abou Hadid AF.** 2003. Cell and plant response to NaCl in *Zea Mays* L. cultivars differing in salt tolerance. *Gen .Appl. Plant Physiol*. **31(1-2)**, 29-41.
- Mekhaldi A, Belkhodja M.** 2006. Effect of salinity on gas exchange in life disk of *Vigna radiata* L. Wilczek, Egypt. *J. Appl. Sc*. **21 (4B)**, 411-418.
- Mekhaldi A, Benkhelifa M, et Belkhodja M.** 2008. The effect of salinity on gas exchange on different developmental stages of Mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek), *International J. of Botany*. **4(3)**, 269-275.

- Mekhaldi A, Belkhodja M.** 2013. Physiological and biochemical responses of Mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) to salt stress conditions, International Journal for Environment and Water. **2(3)**, 103-10.
- Monneveux P, Et Nemmar M.** 1986. Contribution to the study of the drought resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum durum* Desf.): study of the accumulation of proline during the development cycle. Agronomy. **6**, 583-590.
- Munns R.** 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. **25**, 239-250.
<http://dx.doi.org/10.1046/j.00168025.2001.00808.x>
- Munns R, Cramer GR Ball.** 1999. Interactions between rising CO₂, soil salinity and plant growth. in Luo Y and Mooney HA. (Eds.), Carbon dioxide and environmental stress, 139-167, Academic Press, London.
- Munns R, James RA, Lauchli R.** 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany. (**57**°), 1025-1043.
- Neffati M, Marzouk B.** 2009. Roots volatiles and fatty acids of coriander (*Coriandrum sativum* L.) grown in saline medium. Acta Physiol Plant. **31**, 455-461.
<http://doi.org/10.1007/s11738-008-0253-4>
- Neffati M, Sriti J, Hamdaoui G, Khouk ME, Marzouk B.** 2011. Salinity impact on fruit yield, essential oil composition and antioxidant activities of *Coriandrum sativum* fruit extracts. Food Chem. **124**, 221-225
- Neffati M, Marzouk B.** 2008. Changes in essential oil and fatty acid composition in coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under saline conditions. Ind Crop Prod. **28**, 137-142.
- Parida AK, Das AB.** 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicol. Environ. Saf. **60**, 324-349.
- Poljakoff.** 1975. Plants in Saline Environments Ecological studies. Analysis and Synthesis (Poljakoff-Mayber, A. and Gale, J., eds). **15**, 147-167. Springer, Berlin.
<http://doi.org/10.1007/978-3-642-80929-3>
- Poljakoff-Mayber A.** 1988. Morphological and anatomical changes as a response to salinity stress, in Plants in Saline Environments. Ecological Studies Springer, Berlin. Analysis and Synthesis. **15**, 97-117.
- Roger NE, Noble CL.** 1991. The effect of NaCl on the establishment and growth of Balansa Clover (*Trifolium michelianum* Savi Var. balansae Boiss.). aust. J. Agric. Res. **42**, 847-857.
- Roger Prat, Gilles Furelaud, Jean-Pierre Rubinstein.** 2001. Colorations de cellulose et lignine, Planet-Vie.
<https://planet-vie.ens.fr/article/1347/colorations-cellulose-lignine>.
- Singh TN, Paleg LG, et Aspinall D.** 1973. Stress metabolism. Variations in response to water deficit in the barley plant. Aust. J. Biol. Sci. **26**, 65-75.
- Szabolcs I.** 1994. Soils and salinization. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York, 3-11.
- Torres C, Biingham FT.** 1973. Salt tolerance of Mexican wheat. Effect of NO₃ and NaCl on mineral nutrition, growth and grain production of four wheats. Soil Sci. Soc. Am. Proc. **37**, 711-715.
<http://dx.doi.org/10.1080/01904161003669939>
- Usue P, Robredo A, Lacuesta M, Mena-Petite A, Muñoz-Rueda A.** 2009. The impact of salt stress on the water status of barley plants is partially mitigated by elevated CO₂. J Exp Bot. **66**, 463-470.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.03.007>
- Zaki MF, Abou Hussein SD, Abou El-Maged MM, El-Abagy HMM.** 2009. Evaluation of some fennel cultivars under saline irrigation water. Eur J Sci Res. **30**, 67-78.
- Zaman B, Niazi BH, Athar M, Ahmad M.** 2005. Response of wheat plants to Na⁺ and Ca⁺⁺ on interaction under saline environment. Int. J. of Environ. Sci. and Techno **2**, 7-12.