

UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM
FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET SCIENCES
DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



MEMOIRE DE MAGISTER

Présenté par :

TAHRI Miloud

Spécialité : Sciences agronomiques

Option : Gestion Conservatoire des Eaux, Sols et Environnement

Intitulé

Réponse physiologique et anatomique de
(*Phaseolus Vulgaris L.*) au stress de la salinité
sur substrats sableux amendés en bentonite

Composition de jury de soutenance

Nom et prénom	Grade	Qualité	Appartenance administrative
KOURI Lakhdar	MCA	Président	U.MOSTAGANEM
CHADLI Rabah	MCA	Encadreur	U.MOSTAGANEM
BAKHTI Abdellah	MCA	Examineur	U.MOSTAGANEM
LARID Mohamed	MCA	Examineur	U.MOSTAGANEM

Année universitaire 2011/2012

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je voudrais remercier Monsieur CHADLI et lui exprimer ma gratitude pour sa très grande disponibilité, son soutien scientifique, moral, son excellent sens critique et sa rigueur scientifique.

Je tiens également à remercier Monsieur KOURI pour sa grande disponibilité et d'avoir aimablement accepté de présider ce jury; qu'il me soit permis de lui témoigner mon sincère et profond respect.

Mon sentiment profond va à Monsieur BAKHTI qui a bien voulu faire part de ce jury et examiner mon travail. Je lui exprime ici toute ma reconnaissance.

Je tiens à remercier Monsieur LARID pour avoir accepté d'examiner ce travail, qu'il trouve dans ces quelques mots l'expression de ma sincère gratitude. Sa présence est d'une importance car il nous fait bénéficier par ses pertinentes remarques sur tout ce qui concerne les stress abiotiques.

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.

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 Trois enfants Nesrine et Radouane et Asmaa que j'adore énormément.

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

A ma belle famille Tahri.

A mes frères et sœurs.

A ma promotion de Magister 2009-2010

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

Miloud

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 (Na^+ , 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 ($50\text{-}100\text{-}200\text{- meq.g.l}^{-1}$ de $\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$) sur un sol sableux 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 : Sols, stress salin, bentonite, proline, (*Phaseolus vulgaris* L.),

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Triangle de texture.

Figure 2 : Bentonite en poudre.

Figure 3 : Le complexe Argilo-Humique.

Figure 4 : Quatre principaux modes de salinisation des sols.

Figure 5 : Caractéristiques de rétention $\theta(h)$ d'un horizon argileux, d'un horizon.

Figure 6 : Caractéristiques de conductivité hydraulique $K(h)$ d'un horizon argileux, d'un horizon limoneux et d'un horizon sableux.

Figure 7 : Trajet de l'eau dans les racines.

Figure 8: Transport et accumulation de Na^+ chez une plante sensibles (haricot), moyennement tolérante laurier rose et tolérante Orge.

Figure 9: Concentration de K^+ dans les feuilles et les racines.

Figure 10 : Les différents stades de germination.

Figure 11 : Représentation schématique de l'anatomie comparée d'une fleur, d'un fruit et de graines.

Figure 12 : Caractéristiques morphologiques du haricot.

Figure 13: Carte géographique des zones de prélèvements

Figure 14: Conductivité électrique en fonction de la concentration des sels - Abdelmalek Ramdan.

Figure 15: Conductivité électrique en fonction de la concentration des sels - Achaacha.

Figure 16: Conductivité électrique en fonction de la concentration des sels -Sidi Lakhdar.

Figure 17: Concentration des sels anioniques en fonction des différents traitements - Abdelmalek Ramdan.

Figure 18: Concentration des sels cationiques en fonction des différents sols - Abdelmalek Ramdan.

Figure 19: Concentration des sels anioniques en fonction des différents sols - Achaacha.

Figure 20: Concentration des sels cationiques en fonction des différents sols - Achaacha

Figure 21: Concentration des sels anioniques en fonction des différents sols -Sidi Lakhdar.

Figure 22: Concentration des sels cationiques en fonction des différents sols -Sidi Lakhdar.

Figure 23 : Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M}\cdot 100\text{mg}\cdot\text{PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl +CaCl₂ de 7jours -Abdelmalek Ramdan.

Figure 24 : Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M}\cdot 100\text{mg}\cdot\text{PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl +CaCl₂ de 21jours - Abdelmalek Ramdan.

Figure 25 : Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M}\cdot 100\text{mg}\cdot\text{PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl +CaCl₂ de 7jours -Achaacha.

Figure 26 : Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M}\cdot 100\text{mg}\cdot\text{PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl +CaCl₂ de 21jours -Achaacha.

Figure 27: Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M}\cdot 100\text{mg}\cdot\text{PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl +CaCl₂ de 7jours -Sidi Lakhdar.

Figure 28 : Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M}\cdot 100\text{mg}\cdot\text{PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl +CaCl₂ de 21jours -Sidi Lakhdar.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classement et quelques propriétés des particules du sol.

Tableau 2: Surfaces irriguées dans le monde.

Tableau 3: Les différents types des eaux d'irrigation et leur effet sur les cultures.

Tableau 4 : Classification des sols selon leur teneur en sels.

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

Tableau 6 : Composition (g/100g de graines) et valeur énergétique.

Tableau 7: composition chimique de la bentonite de Mostaganem

Tableau 8: Composition chimique de la solution nutritive.

Tableau 9 : Préparation des solutions salines de NaCl + CaCl₂.

Tableau 10 : Données en pourcentage des valeurs de la capacité de rétention.

Tableau 11 : Les données du pH des trois stations.

Tableau 12 : Teneurs en proline endogène chez les plantules du 1^{er} stress aux NaCl + CaCl₂ (7jours) sur un sol avec ou sans bentonite.

Tableau 13 : Teneurs en proline endogène chez les plantules du 2^{ème} stress aux NaCl + CaCl₂ (21jours) sur un sol avec ou sans bentonite.

Tableau 14: Teneurs en proline endogène chez les plantules du 1^{er} stress aux NaCl + CaCl₂ (7jours) sur un sol avec ou sans bentonite.

Tableau 15 : Teneurs en proline endogène chez les plantules du 2^{ème} stress aux NaCl + CaCl₂ (21jours) sur un sol avec ou sans bentonite.

Tableau 16 : Teneurs en proline endogène chez les plantules du 1^{er} stress aux NaCl + CaCl₂ (7jours) sur un sol avec ou sans bentonite.

Tableau 17 : Teneurs en proline endogène chez les plantules du 2^{ème} stress aux NaCl + CaCl₂ (21jours) sur un sol avec ou sans bentonite.

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Graines de *Phaseolus vulgaris* L.

Photo 2 : Agrandissement des particules des substrats utilisés (10x).

Photo 3 : La bentonite.

Photo 04 : pH mètre.

Photo 05 : Conductimètre.

Photo 06 : Germination des graines de *Phaseolus vulgaris* L. Dans des boîtes de Pétri (phase semis).

Photo 07 : Plantules en pot, cultivées en salle de culture à la température ambiante et à la lumière du jour.

Photo 08 : Technique de la double coloration.

Photo 09 : Microscope photo ZEISS.

Photo 10 : observation d'une coupe anatomique.

Photo 11 : Technique d'extraction.

Photo12 : Spectrophotomètre moléculaire.

Sommaire

Introduction	01
Chapitre I : Les Données Bibliographiques	
1. Le sol	04
1.1. Les propriétés physico-chimiques des sols	04
1.2. Les classes texturales des sols	04
a. L'argile	04
b. Le limon	04
c. Le sable	05
d. Bentonite	05
1.3. La structure de sol	07
a. La densité	08
b. La densité apparente	08
c. La densité réelle ou théorique	08
1.4. La porosité du sol	08
1.5. PH des sols	09
1.6. Salinité et alcalinité	10
1.7. Les caractéristiques hydriques de sol	12
1.7.1. La perméabilité	12
1.7.2. L'humidité du sol	12
1.7.2.1 L'humidité pondérale du sol	12
1.7.2.2. L'Humidité à la capacité au champ (Hcc)	12
1.7.3. La rétention de l'eau par les sols	13
1.7.4. La Circulation de l'eau dans les sols	14
1.7.5. L'infiltration	15
1.7.6. La conductivité hydraulique	15
1.8. L'eau et la plante	16
1.8.1. L'eau du sol	16
1.8.2. L'eau dans la plante	16
1.8.3. L'eau et les racines	17
2. Action du Stress sur les végétaux	18
a. Déformation élastique	18

b. Déformation plastique	18
2.1. Métabolisme	19
2.2. Ajustement osmotique	19
2.3. Ajustement structural	19
2.4. La sécheresse	20
2.4.1. Conséquences de la sécheresse sur le fonctionnement des plantes	20
2.4.2. Adaptation des plantes à la sécheresse	20
2.5. La Salinité	21
2.5.1. Action de la salinité sur les végétaux	22
2.5.1.1. Origine de la salinité	23
2.5.1.2. Drainage	24
2.5.1.3. Salinisation provoquée	25
2.5.2. Réponses des plantes aux stress salin	25
2.6. Impact de la salinité sur le développement des plantes	26
2.6.1. Germination	27
2.6.2. Croissance et développement	27
2.7. Les mécanismes de la tolérance à la salinité chez les végétaux	29
2.7.1. Compartimentation	29
2.8. Transport du NaCl dans la plante entière	30
2.9. Lessivages des sels	30
2.10. Stratégies adaptatives au stress salin	31
2.10.1. Ajustement osmotique	31
2.10.2. Accumulation de la proline	32
3. Présentation d'espèce « l'haricot »	34
3.1. Caractères botaniques	35
3.1.1. Origine et dispersion	36
3.1.2. Classification classique	36
3.2. Caractères morphologiques	37
3.3. Exigences du haricot	37
3.3.1. Exigences climatiques	37
3.3.2. Exigences édaphiques	38
3.4. La culture du haricot	38
3.4.1. Importance des légumineuses cultivées	39

3.4.1.1. Importance économique	40
3.4.1.2. Valeur alimentaire	41
3.5. Contraintes liées à la culture et à la productivité du haricot commun	41

Chapitre II : Matériel et Méthodes

A. Matériel végétale	44
b. Méthodes	44
1. Dispositif expérimentables	44
1.1. Preparation de la culture	44
1.1.1. Gisement de bentonite (M'zila)	47
1.1.2. Méthodes d'analyses physico-chimiques des sols	48
1.1.2.1. Détermination de la capacité de rétention	48
1.1.2.2. Mesure de la Salinité et du pH	48
1.1.2.2.1. La conductivité électrique (CE)	49
1.2. Dosage des sels solubles	49
1.2.1 Dosage du chlore	49
1.2.2 Dosage des sulfates	50
1.2.3 Dosage des carbonates et bicarbonates	51
1.3. Germination	53
1.4. Repiquage	53
1.5. Préparation des solutions d'arrosage	54
1.5.1. La solution nutritive	54
1.5.2. Les solutions salines	55
1.5.3. L'irrigation	56
2. Etude anatomique des tiges et des racines	56
3. Extraction et dosage de la proline	58
* Extraction	58
* Dosage	59

Chapitre III: Résultats et Discussion

A. Etude de la fraction sol	61
1. La capacité de rétention	61
2. Le pH du sol	61
3. La conductivité électrique	62

3.1. Station Abdel Malek Ramdane	62
3.2. Station Sidi Lakhdar	62
3.3. Station Achaacha	63
4. Dosage des anions et des cations des différents sols après traitement	63
4.1 Station Abdel Malek Ramdane	63
4.2 Station Sidi Lakhdar	65
4.3 Station Achaacha	68
5. Etude anatomique	69
6. le dosage de proline	76
6.1. Station Abdel Malek Ramdane	76
6.1.1 Dosage de proline 1 ^{ere} stress (7 jours)	76
6.1.2 Dosage de proline 2 ^{eme} stress (21 jours)	77
6.2. Station Sidi Lakhdar	78
6.2.1 Dosage de proline 1 ^{ere} stress (7 jours)	78
6.2.2 Dosage de proline 2 ^{eme} stress (21 jours)	79
6.3. Station Achaacha	80
6.3.1 Dosage de proline 1 ^{ere} stress (7 jours)	80
6.3.2. Dosage de proline : 2 ^{eme} stress (21 jours)	81
7. Discussion	82
Conclusion Générale	86
Référence Bibliographiques	90
Annexe	

Introduction

INTRODUCTION

La défense des plantes contre le stress salin est une situation préoccupante rencontrée dans plusieurs régions du monde où la pression sur l'eau devient de plus en plus forte, notamment en raison des changements climatiques et de la nécessité d'augmenter le rendement des cultures face à une population mondiale grandissante.

La salinité du sol est une des principales contraintes environnementales de l'agriculture moderne. 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 surface 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).

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);

- Nous poursuivrons notre travail par une investigation sur la réponse anatomique des jeunes racines et tiges des plantes stressées.

- Dans une troisième étape, nous achevons ce modeste travail par une extraction et un dosage de la proline de cette plante conduite en conditions stressantes.

Chapitre I

Données Bibliographiques

I. Données bibliographiques**1. le sol**

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

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

1.1. Les propriétés physico-chimiques des sols

D'un point de vue physique les sols sont composés de solides et de pores qui occupent des proportions variées d'air et d'eau. Dans les sables purs ou contenant peu d'argile, le système est composé de particules minérales massives ayant entre elles des surfaces de contact très faibles. Lors de l'humectation, le volume apparent reste alors constant jusqu'à saturation, même quand l'eau s'écoule dans les pores (JOHN, 2004).

1.2. Les classes texturales des sols**a. L'argile**

L'argile a beaucoup de plasticité et de cohésion. Elle se fractionne à l'état sec en mottes dont les angles de fracture sont aigus ou arrondis selon les teneurs en limon. Dans le premier cas, la teneur en limon est faible (< 40%) tandis que dans le deuxième cas, la teneur en limon est élevée (> 40%). Les sols argileux sont les plus difficiles à travailler et c'est la raison pour laquelle on les appelle les terres fortes (JOHN., 2004).

b. Le limon

Présente une plasticité et une cohésion modérées et ce à l'état sec ou humide. Il est possible de faire un montage relativement stable avec le limon. Les sols limoneux se travaillent très bien et c'est la raison pour laquelle on les appelle les terres franches. Les sols qui contiennent de fortes concentrations de limon sont parfois apparentés aux sols argileux et l'appréciation au toucher diffère dans ce cas des analyses granulométriques de laboratoire (JOHN, 2004).

c. Le sable

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

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

Le sable très grossier est généralement considéré comme du gravier surtout quand il est angulaire et dur comme celui dérivé des granites et des granodiorites, la présence de M.O (JOHN, 2004).

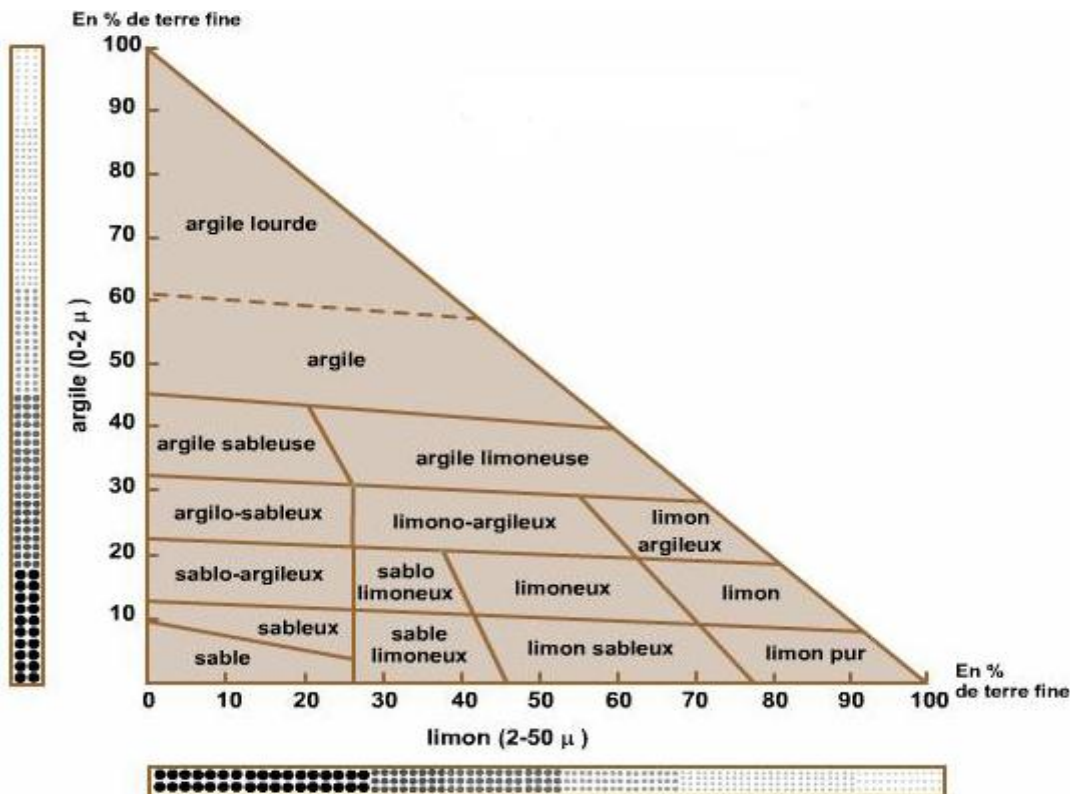


Figure 1 : Triangle de texture (UNIFA Edition 2005).

d. La bentonite

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 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 2 : Bentonite en poudre

1.3. La structure du sol

La structure est le mode d'agrégation des particules primaires que sont le sable, le limon et l'argile, en mélange avec la matière organique. Évaluer la structure de son sol permet de donner l'heure juste sur l'état de santé de son sol. Une structure adéquate implique une bonne aération donc la présence d'une vie microbienne, une meilleure pénétration de l'eau et une plus grande utilisation des engrais.

Dans de bonnes conditions de sol, le système racinaire peut explorer un maximum de volume de sol, allé chercher l'eau et l'engrais. La plante est moins

sensible à la sécheresse. La présence de résidus nous indique aussi s'il y a activité microbienne ou mauvais travail de sol et encore s'il y a présence ou absence d'air (BRUAND et COQUET, 2004).

a. La densité

C'est le rapport du poids d'un mètre cube d'un corps par rapport à un mètre cube d'eau. On distingue deux types de densité, densité apparente et densité réelle (théorique).

b. La densité apparente

On appelle la densité apparente, le rapport de la masse de sol sec au volume totale du sol.

$$D_a = \frac{M_s}{V_T} \quad (\text{g/cm}^3) \dots\dots\dots (1)$$

Ms. Masse de sol sec en (g).

VT: Volume totale de sol en place (cm³).

La densité apparente (Da) varie en fonction de la texture du sol.

- Sol sableux: 1,3 à 1,4
- Sol limoneux: 1,2 à 1,5
- Sol argileux: 1,1 à 1,3

c. La densité réelle ou théorique

La densité réelle est définie comme étant le rapport de la masse de la partie du sol sèche au volume sec. $D_r = \frac{M_s}{V_s} \quad (\text{g/cm}^3) \dots\dots\dots (2)$

Ms: masse des particules solides en (g)

Vs: volume des particules solides en (cm³)

Généralement la densité réelle est comprise entre 2,4 et 2,6 (BASTET, 1999)

1.4. La porosité du sol

La porosité du sol joue un rôle important dans les échanges hydriques et gazeux, ainsi que dans le développement racinaire.

Elle est souvent sujette à des modifications variables lorsque les sols sont compactés. Généralement, la compaction affecte la qualité physique du sol, elle réduit la porosité, ce qui entraîne une mauvaise aération du sol, un mauvais

drainage et augmente la résistance à la pénétration des racines, par conséquent réduit la croissance et le rendement de la récolte (DAOUD, 1993).

Plusieurs auteurs ont utilisé la méthode de la prosimètre au mercure pour évaluer la distribution de la taille des pores dont le diamètre est compris entre 400 et 0,006 μm et l'effet de la compaction sur la diminution du volume poral.

En effet, l'utilisation de cette méthode a permis à (FIES et BRUAND, 1990) d'étendre aux sols argileux, la distinction entre la porosité texturale qui résulte de l'arrangement élémentaire des particules du sol et la porosité structurale, qui résulte quand à elle de l'action combinée de facteurs externes (climatiques, mécaniques et biologiques).

1.5. pH des sols

En fait le pH des eaux libres et interstitielles contenues dans la porosité, intervient de façon essentielle dans la nature et le développement des végétaux propres à tel ou tel écosystème terrestre ainsi que dans ceux de la microflore et de la faune édaphiques.

Le pH est aussi abaissé par les acides organiques libres produits par la biodégradation microbienne des détritux végétaux ainsi que des excréta et des cadavres de la faune terrestre. Enfin, l'acidité propre des roches cristallines contribue à cette baisse du pH des sols installés sur des terrains anciens.

Un facteur essentiel qui contrôle le pH des sols tient en l'existence d'une fraction colloïdale régulant les échanges d'ions entre les particules dont elle est composée et la phase aqueuse.

Cette fraction est constituée par des micelles, édifices composites résultant de l'association de particules argileuses et de composés humiques insolubles produits par la dégradation des matières organiques mortes.

Le complexe absorbant argilo-humique des sols, représenté par l'ensemble de ces micelles, libère des anions et des cations de divers métaux (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++}) en échange d'autres ions contenus dans l'eau interstitielle (FRANCHIS et IBANEZ, 2003).

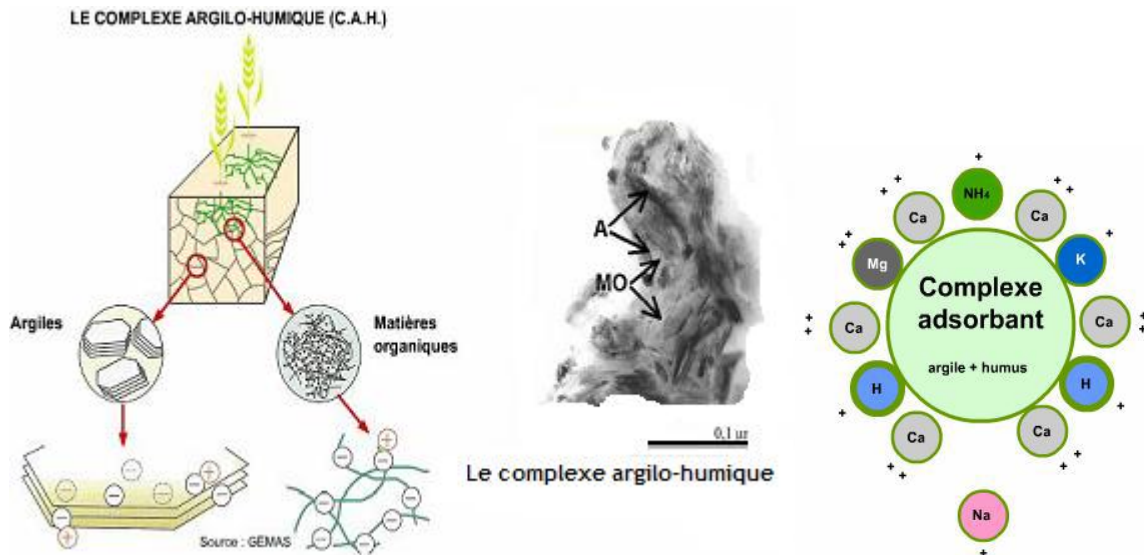
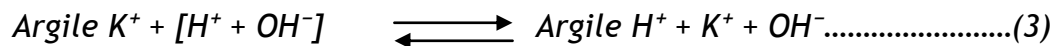


Figure 3 : le complexe Argilo-Humique (D’après UNIFA Edition 2005).

Lorsque la capacité d’échange d’un sol est saturée par les cations, la suspension de ce sol prend une réaction alcaline, d’où le terme de “bases échangeables” conféré à ces cations.

Nous aurons la relation :



1.6. Salinité et alcalinité

On distingue d’une part la salinité primaire, d’origine naturelle, due à la proximité de la mer, ou à l’existence de dépôts salins géologiques ou parfois actuels, et, d’autre part, la salinité secondaire due à des processus de salinisation liés à des activités anthropiques, en particulier à l’irrigation mal conduite dans certaines zones agricoles.

Les sols naturellement salins sont fréquents dans les zones arides, parce que l’évaporation potentielle du sol dépasse largement la quantité d’eau qui arrive au sol, ce qui permet aux sels de s’accumuler près de la surface. La salinité secondaire concerne des surfaces plus réduites que la salinité primaire mais à des conséquences économiques plus importantes car elle peut dégrader gravement la fertilité de zones cultivées. Les marais salants, liés à l’exploitation séculaire du sel en Méditerranée, sont un cas intermédiaire.

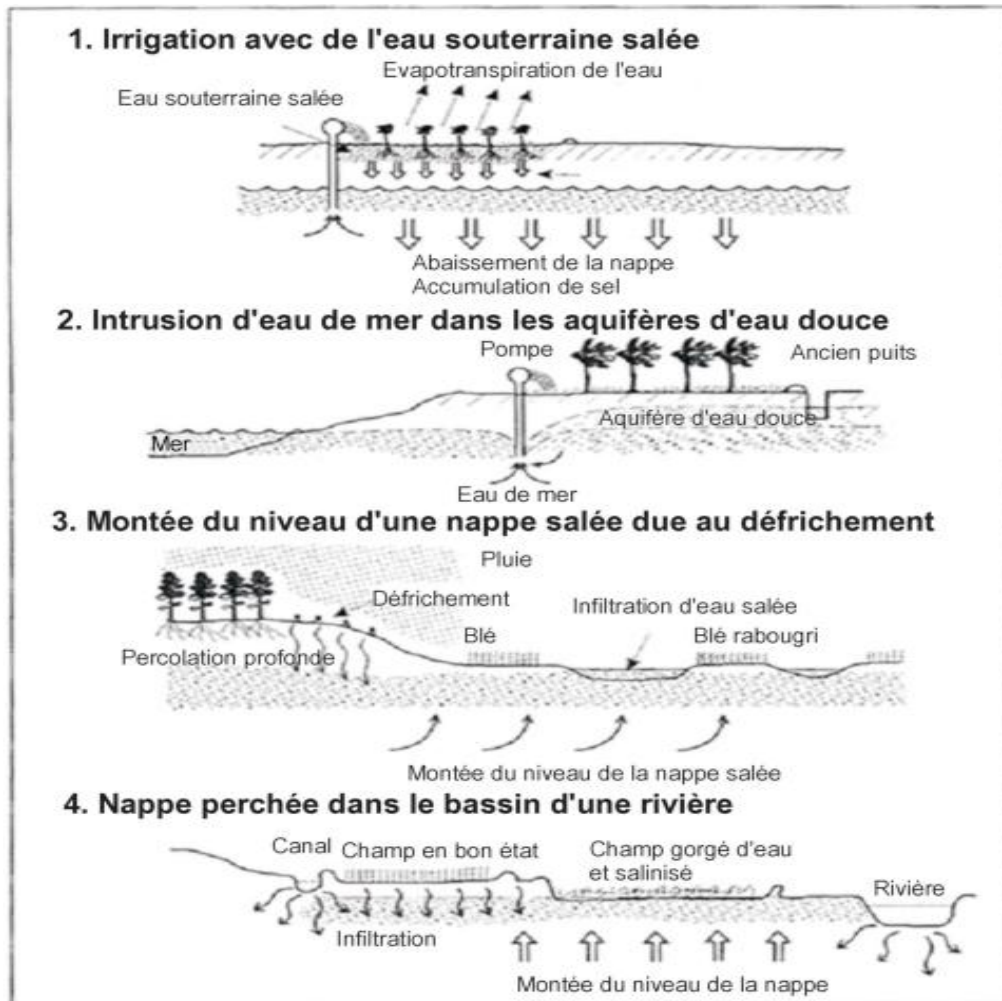


Figure 4 : Quatre principaux modes de salinisation des sols (MALLEK, 1998).

L'alcalinisation d'un sol correspond à l'adsorption de sodium à la place d'autres cations (potassium, calcium notamment) sur ses minéraux argileux. Elle peut conduire à une grave dégradation de sa structure par dispersion des substances colloïdales, argileuses ou organiques. Un sol alcalin a généralement une faible perméabilité à l'eau et à l'air, et un pH élevé (dépassant 8,2) ce qui inhibe la croissance de la plupart des plantes, à l'exception de quelques espèces adaptées à ces milieux très particuliers. Comme la salinité, l'alcalinité peut être soit primaire et naturelle, soit secondaire et induite par l'homme. (MALLEK, 1998).

1.7. Les caractéristiques hydriques du sol

1.7.1. La perméabilité

La perméabilité du sol est définie par sa vitesse d'infiltration, qui est la quantité maximale d'eau qui traverse le sol dans un temps donné, on l'exprime généralement en mm/h ou cm/s, est donnée par la loi de Darcy.

$$Q=K.S.\frac{H}{L} \dots\dots\dots(4)$$

Q : Débit d'eau en cm³/s

K : Vitesse d'infiltration exprimée en cm/s

S : Section traversée en cm²

H : Charge d'eau au dessus de base de la colonne de sol

L : Hauteur de la colonne de sol traversée en cm

H/L : Pente de l'écoulement ou gradient hydraulique.

La perméabilité, ou vitesse de percolation dépende de la texture et surtout de la structure.

La perméabilité d'un sol est d'autant plus élevée que sa porosité non capillaire (ou macro porosité) est plus forte Plus le sol est formé d'éléments arrondis et de même taille, plus qu'il est perméable Plus il est formé d'éléments de taille différente imbriqués les une dans les autres, plus qu'il est imperméable (SULTANA, 1999).

1.7.2. L'humidité du sol

1.7.2.1 L'humidité pondérale du sol

C'est le rapport entre le poids d'eau et le poids de la partie sèche d'un même échantillon.

$$H_p = \frac{M_E}{M_S} \dots\dots\dots(5)$$

H_p: Humidité pondérale (%)

M_E: Masse d'eau (g)

M_S: Masse sèche (g).

1.7.2.2. L'Humidité à la capacité au champ (H_{cc})

Elle est définie comme étant la quantité maximale d'eau que le sol peut retenir après drainage naturel, elle est mesurée au laboratoire, sur des échantillons de sols, ce taux d'humidité est censé donner une valeur approchée de l'humidité à la capacité de rétention.

- L'humidité du sol influence les échanges de surface entre le sol, la végétation et l'atmosphère
- Améliorer notre connaissance des processus de surface
- Contribution en météorologie, climatologie, prévision des impacts sur les populations

(GRUHIER., 2010).

1.7.3. La rétention de l'eau par les sols

La rétention en eau d'un horizon correspond à sa capacité à retenir l'eau à un état hydrique donné, caractérisé par une valeur donnée du potentiel matriciel de l'eau dans le sol. On nomme « caractéristique de rétention en eau » la relation $\theta(h)$ qui relie θ , teneur en eau volumique, et h , potentiel matriciel de l'eau.

Il s'agit d'une relation non linéaire puisque h peut varier de plusieurs ordres de grandeur : $h = 0$ à saturation et $h = - 106$ hPa pour un horizon très sec, tandis que θ varie de θ_s (rarement supérieur à 0,95) à θ proche de 0 pour un horizon séché à l'air. C'est pourquoi on utilise couramment la transformation logarithmique suivante pour faciliter la représentation graphique des caractéristiques de rétention :

$$pF = \log_{10} |h|, \quad \text{avec } h \text{ en cm} \dots \dots \dots (6)$$

Cette relation varie d'un horizon à l'autre, en particulier en fonction de la texture et de la structure du sol (Tableau 1) (LEGOUPIL, 1974).

Tableau 1 : Classement et quelques propriétés des particules du sol. Un mélange de 40% de sable, 40 % de limon et 20 % d'argile constitue un sol argilo-limoneux. Un sol sableux contient moins de 15% de limon et d'argile, alors qu'un sol argileux contient plus de 40% de particules argileuses (HOPKINS, 2003).

<i>Classes des particules</i>	<i>Taille des particules (mm)</i>	<i>Retention d'eau</i>	<i>Aération</i>
Sable grossier	2,00–0,2	faible	excellente
Sable	0,20–0,02	-	-
Limon	0,02– 0,002	bonne	bonne
Argile	moins de 0,002	excellente	pauvre

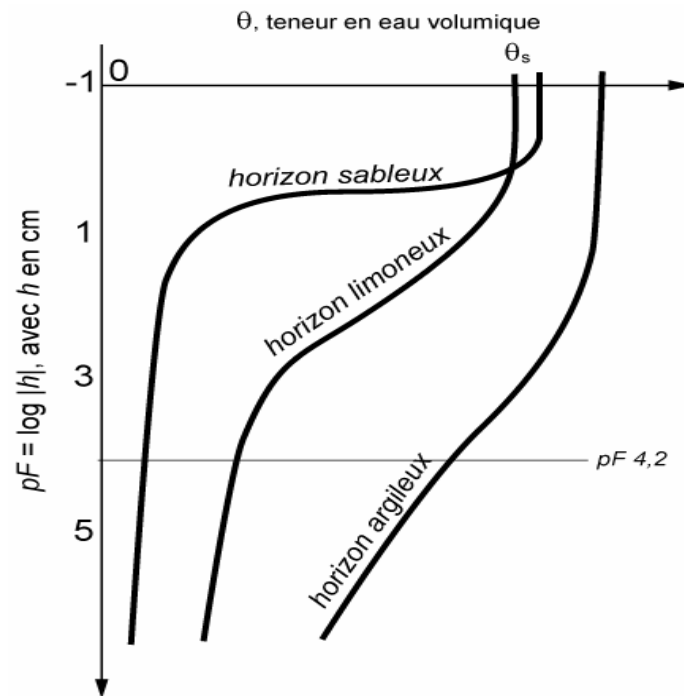


Figure 5 : Caractéristiques de rétention $\theta(h)$ d'un horizon argileux, d'un horizon limoneux et d'un horizon sableux (BRUAUND et COQUET, 2004).

1.7.4. La Circulation de l'eau dans les sols

Si les variations de potentiel de l'eau dans le sol sont le moteur des écoulements, leur intensité est aussi déterminée par la capacité du sol à se laisser traverser par l'eau, c'est-à-dire par sa conductivité hydraulique K . Elle est fortement dépendante du taux de saturation en eau de sa porosité, c'est-à-dire de sa teneur en eau.

La conductivité hydraulique à saturation d'un horizon K_s est principalement déterminée par la taille maximale des pores de l'horizon : un horizon sableux aura une conductivité hydraulique à saturation supérieure à celle d'un horizon argileux. En revanche, si ce dernier possède des pores structuraux (fissures, galeries de vers de terre), sa conductivité hydraulique à saturation pourra être élevée et supérieure à celle d'un horizon sableux sans pores structuraux.

Dès qu'un horizon se désature, sa conductivité hydraulique diminue fortement. L'allure de cette diminution peut être décrite par la relation $K(\theta)$ qui relie la conductivité hydraulique K , à la teneur en eau volumique θ . La conductivité hydraulique peut aussi s'exprimer aussi en fonction du potentiel matriciel de l'eau h , compte tenu de la caractéristique de rétention reliant θ et H (figure 5).

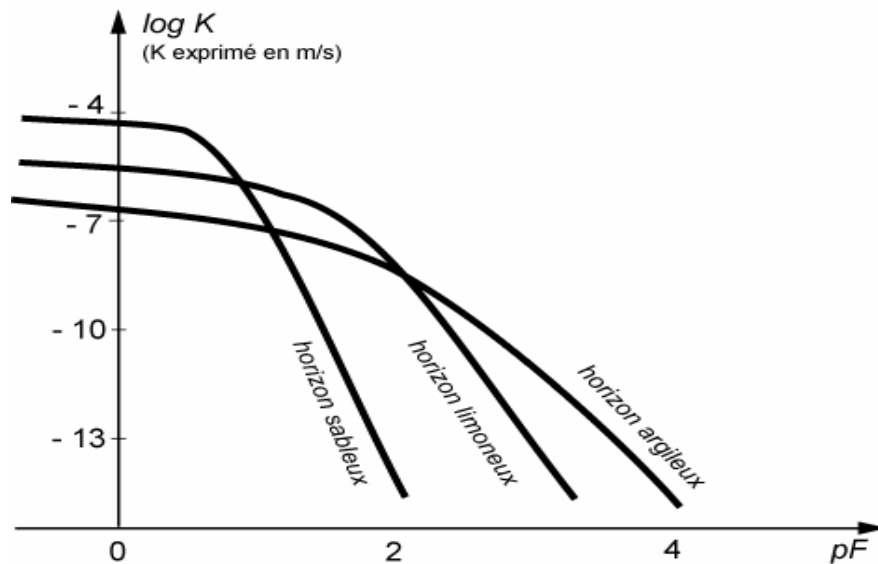


Figure 6 : Caractéristiques de conductivité hydraulique $K(h)$ d'un horizon argileux, d'un horizon limoneux et d'un horizon sableux (BRUAUND et COQUET, 2004).

1.7.5. L'infiltration

L'infiltration est le nom donné au processus d'entrée de l'eau dans le sol, généralement à travers la surface du sol et verticalement vers le bas.

Ce processus est d'une grande importance dans la pratique car son régime détermine souvent le ruissellement qui se forme à la surface du sol. Lorsque le régime d'infiltration est facteur limitant, tout le bilan de l'eau dans la zone racinaire est influencé.

La connaissance du processus d'infiltration tant du point de vue des propriétés du sol que de celui du mode d'alimentation en eau est indispensable pour permettre une gestion efficace de l'eau (HILLEL, 1984).

1.7.6. La conductivité hydraulique

La conductivité hydraulique saturée est une mesure de l'aptitude d'un sol saturé à la percolation de l'eau. Cette mesure peut-être faite sur place ou approchée en laboratoire par des essais sur des échantillons plus ou moins remaniés.

En réalité dans un dépôt naturel, la conductivité hydraulique saturée varie en fonction de l'axe d'écoulement considéré.

Généralement, la conductivité hydraulique mesurée dans l'axe horizontal est supérieure à celle mesurée dans l'axe vertical.

De plus, les hétérogénéités locales jouent un rôle important lorsque la conductivité d'un horizon de sol doit être estimée. Les perméamétries sont des appareils de terrain qui permettent d'obtenir des mesures globales (toutes directions) de la conductivité hydraulique saturée. Ces appareils sont constitués d'une chambre cylindrique remplie d'eau grâce à laquelle, une charge hydraulique peut être appliquée dans le sol.

En introduisant dans une équation d'écoulement, la variation du potentiel hydraulique appliquée dans le sol en fonction du temps, la conductivité hydraulique saturée peut-être déduite (CHEVERY et ROBER, 1993).

1.8. L'eau et la plante

1.8.1. L'eau du sol

La phase liquide est directement accessible par les racines et constituée d'eau et de substances dissoutes. Elle n'est cependant pas libre et plus le sol se dessèche, plus il est difficile d'en extraire de l'eau qui est liée aux constituants du sol par les forces osmotiques et les forces matricielles.

Les forces osmotiques ont pour origine la concentration en ions et molécules organiques des solutions. Les solutés de deux solutions séparées par une membrane perméable comme ceux du sol et ceux des racines- iront spontanément de la solution la plus concentrée vers la solution la moins concentrée.

De la même manière les molécules d'eau iront de la solution où le potentiel chimique de l'eau est élevé vers celle où il est le plus bas. Le potentiel chimique représente l'enthalpie libre d'une mole d'eau et dépend de la « concentration de l'eau ». En cas de sécheresse, la « concentration en eau » étant plus faible, celle des ions et molécules organiques est donc plus élevée.

1.8.2. L'eau dans la plante

L'eau captée par les racines va occuper l'ensemble des cellules et des espaces intercellulaires du végétal. La mesure d'un autre paramètre, la teneur en eau relative, permet de connaître le niveau de saturation en eau ou de turgescence de la plante. Il est déterminé de la façon suivante :

$$RWC = [(MF - MS) / (MT - MS)] \cdot 100 \dots \dots \dots (7)$$

RWC : Teneur Relative en Eau

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

Au niveau des racines, l'eau est rapidement canalisée dans le système conducteur xylème constitué de cellules différenciées en vaisseaux conducteurs et en trachéides s'arrêtant dans les organes foliaires.

La plante module l'ouverture des stomates en fonction des conditions de lumière, de l'état hydrique de la plante et du déficit de pression de vapeur (VPD). Le système stomatique a été largement étudié et est un des principaux acteurs de régulation de l'état hydrique de la plante (LI, 2000) Les stomates ont donc un rôle majeur dans la réponse au stress hydrique (BUCKLEY, 2005). Quant à la transpiration de l'épiderme, elle va dépendre de la nature de celui-ci et la présence d'une cuticule (BURGHARDT et RIEDERER, 2003).

1.8.3. L'eau et les racines

L'appareil racinaire est l'organe spécialisé dans l'absorption de l'eau et des substances minérales en régulant comme nous venons de le voir les propriétés osmotiques de ses tissus. Il apparaît donc comme une cible d'étude particulièrement intéressante dans le cadre de réponses à des déficits hydriques.

Cependant sa morphologie complexe et ramifiée rend les observations difficiles en terre.

Les expériences en hydroponie permettent de simuler l'état de sécheresse d'un sol en modulant l'os molarité de la solution par l'ajout de macromolécules comme le polyéthylène glycol.

Nous avons vu que l'eau était canalisée dans des éléments vasculaires. Avant de parvenir à ces structures différenciées, l'eau est absorbée par les cellules épidermiques puis doit franchir l'endoderme.

Le transfert passif des solutés de cellule à cellule reste faible à cause de la faible perméabilité aux solutés des membranes. L'eau par contre circule plus facilement au travers des membranes. Elle peut emprunter différentes voies de circulation (STEUDLE, 2000).

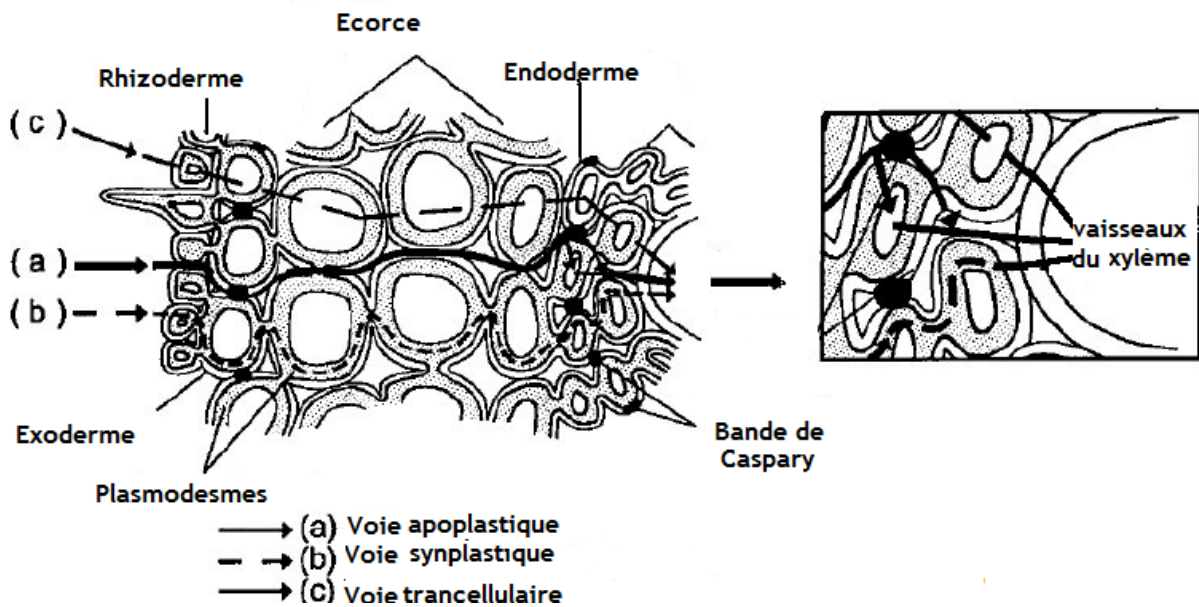


Figure 7 : Trajet de l'eau dans les racines : a) voie apoplastique, b) voie symplasmique, c) voie transcellulaire de vacuole à vacuole. La voie apoplastique est interrompue par le cadre subérifié (Bande de Caspary) d'après (STEUDLE, 2000).

2. Action du Stress sur les végétaux

Le stress (du latin *stringere* : 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) force(s) de déformation appliquée(s) 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 » en anglais) 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 » en anglais) 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.

2.1. 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.

2.2. 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 éflux, 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) ont 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).

2.3. 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).

2.4. La 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, 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).

2.4.1. 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 (PLANT, 1989).

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 (VERNON *et al.*, 1993)

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).

2.4.2. 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» (IKEDA et ITOH, 1999).

2.5. La Salinité

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 (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 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 .

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. (BELKHODJA et BIDAI, 2004).

2.5.1. 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 où 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).

2.5.1.1. Origine de la salinité

Il y a plusieurs facteurs qui sont responsable de la salinité des sols, parmi ces facteurs on résume trois origines principales qui semblent être essentiels.

La présence d'une lithologie faite à base de roche salifères le plus souvent gypso-saline dans un bassin versant d'un cours d'eau en aliment les dépôts sédimentaires à l'aval participent à la influence également sur la composition chimique des eaux qui peuvent contaminer le sol (CHEVERY et ROBERT, 1993).

L'irrigation consiste à répondre de l'eau dans les cultures pour obvier à une période de sécheresse survenant pendant la saison végétative des plantes cultivées; l'irrigation a commencé son expansion dès le début du XIX^e siècle mettant à profit les progrès de la science de l'hydraulique pour la maîtrise des eaux; Dès le début du XX^e siècle par exemple le seul sous continent Indien quelques 4.8 millions d'ha étaient déjà irrigués contre 8 millions d'ha pour l'ensemble du monde 10 ans auparavant (CHEVERY et ROBERT, 1993) (Tableau 2).

Tableau 2: Surfaces irriguées dans le monde (D'après PARIDA et DAS, 2005).

<i>Pays</i>	<i>Surface irriguée nette en milliers d'ha</i>	<i>Pourcentage irrigué par rapport à la surface agricole totale (%)</i>
<i>Chine</i>	45349	47
<i>Inde</i>	45039	25
<i>Pakistan</i>	16220	78
<i>Indonésie</i>	7550	36
<i>Turquie</i>	2220	8
<i>Autres</i>	36664	7
<i>Monde</i>	237299	16

Les surfaces irriguées dans le monde ont connu un accroissement continu par suite des besoins alimentaires sans cesse accrus d'une humanité confrontée à l'explosion démographique.

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).

La salinité des eaux d'irrigation est exprimée de multiples façons : g/l mole de NaCl par m³ elle peut être aussi traduite en conductivité électrique (CE) à 25° C donnée en millimhos.cm⁻¹ (tableau 3).

$$\text{meq de sels par litre} = 12.5 \text{ mm.hos.cm}^{-1} \dots\dots\dots (8)$$

12.5 est un facteur moyen. Il peut varier de 8 à 20 suivant la nature du sel. Il existe aussi une relation entre la conductivité électrique d'une solution et sa teneur en cations ou anions exprimée en meq.l⁻¹.

$$C.E \times 25^\circ C = 100 \times C \dots\dots\dots (9)$$

C: représente la teneur en meq.l⁻¹ positive ou négative de la solution (Legoupil C.J, 1974).

Tableau 3: les différents types des eaux d'irrigation et leur effet sur les cultures (NAVARRO, 2002).

<i>Etat de l'eau</i>	<i>Sel (g.m³)</i>	<i>C E (mmhos)</i>	<i>Effet pour les cultures</i>	<i>Utilisation</i>
<i>Eau de faible salinité</i>	125 - 250	0 - 0.25	Rares	L'irrigation de la plupart des cultures
<i>Eau de salinité moyenne</i>	250 - 500	0.25 - 0.75	Occasionnels	Peut être utilisée s'il se produit un lessivage modéré
<i>Eau de salinité élevée</i>	500 - 2500	0.75 - 2.250	Fréquents	Utilisé sur des sols à drainage restreint
<i>Eau de salinité Très élevée</i>	2500 à 5000	2.250 - 5	Sévère	N'est pas utiliser à L'irrigation

2.5.1.2. Drainage

Le drainage représente la circulation de l'eau à la surface et à l'intérieur des sols résultant de la gravité et constituant un des agents majeurs du cycle de l'eau. On peut classer le sol salé par rapport à son degré de salinité, selon la classification qui a été faite par l'association agronomique, alimentaire et illustrée dans le tableau 4 ci-dessous (F.A.O., 2005).

Tableau 4 : classification des sols selon leur teneur en sels.

<i>Sol</i>	<i>Conductivité électrique (millimose/cm)</i>	<i>Sels extraits (%)</i>
<i>Non sale</i>	0- 4	0 - 0.15
<i>Peu sale</i>	4-8	0.15-0.35
<i>Moyennement sale</i>	8 -15	0.35 - 0.65
<i>Trop sale</i>	Plus de 15	Plus de 0.65

Les mauvaises conditions du drainage peuvent entraîner la salinisation des sols.

Par ailleurs l'analyse chimique des croûtes de sel des horizons colmatés par le sel des eaux de drainage, des eaux de lessivage ou des solutions de sols permettent de repérer les ions suivants:

2.5.1.3. Salinisation provoquée

La salinisation est provoquée par l'homme dans la mesure où il irrigue avec une eau salée. Même une eau faiblement salée peut à la longue contaminer un sol. Cette contamination est favorisée par les climats arides et semi-arides où les sels solubles s'accumulent fortement dans la couche superficielle du sol à cause de la forte évaporation (WAISEL, 1972).

Les engrais influencent également la salinité du sol par l'action spécifique de chacun des ions apportés dans sa solution en plus de la quantité solubilisée.

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 (NH_4) en nitrate (NO_2). D'autre part, l'échauffement du sol provoque une libération de l'ammoniac (NH_3) qui inhibe l'activité des nitrobacters responsables de la nitratisation. Les deux phénomènes conjugués provoquent l'accumulation du NO_2 dans le milieu (MONNEVEUX et THIS, 1997).

2.5.2. 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, 1987).

- **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.

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. (FLOWERS *et al.*, 1983) a 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 ».

2.6. 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)

2.6.1. 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 poggei* (halophyte facultative), *Phaseolus adenanthus* (halophyte) et *Vigna unguiculata* (glycophyte moyennement tolérante) il est moins marqué (ADAMS *et al.*, 1995).

BELKHODJA 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.

2.6.2. 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 réalisé sur *Phaseolus vulgaris*, il a été démontré que la variabilité de tolérance à la salinité au sein des espèces viendraient 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.

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).

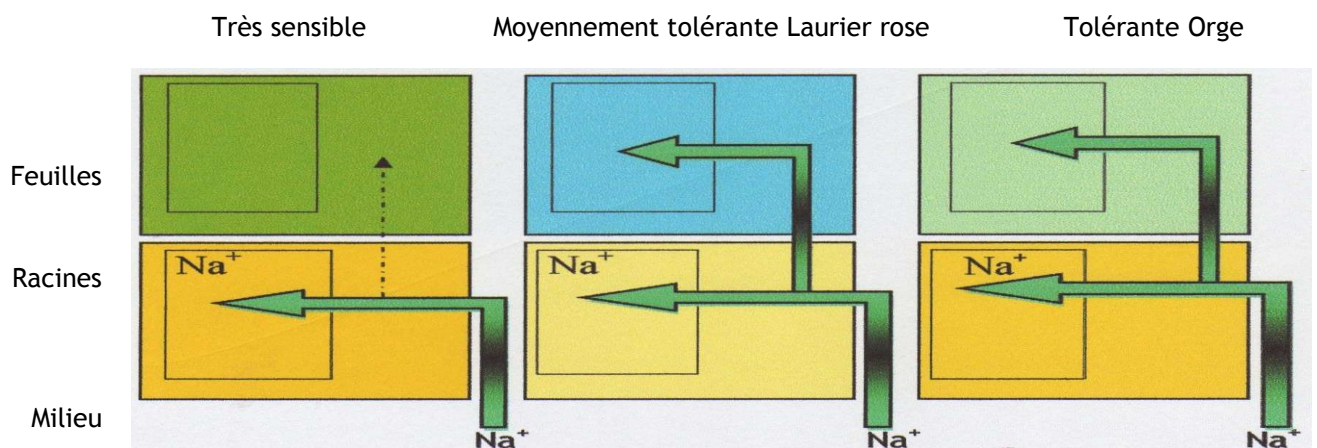


Figure 8: Transport et accumulation de Na^+ chez une plante sensibles (haricot), moyennement tolérante laurier rose et tolérante Orge (HAJJI *et al.*, 1999).

- ❖ 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.

2.7. Les mécanismes de la tolérance à la salinité chez les végétaux

Les mécanismes de tolérance peuvent être classés en quatre groupes selon (PLANT, 1989).

2.7.1. Compartimentation

La compartimentation vacuolaire de Na^+ a pour effet de régler les niveaux de concentration des sels de façon à protéger le cytoplasme contre l'action toxique des ions absorbés et de maintenir les diverses activités métaboliques.

Le cytoplasme se situe entre deux compartiments contenant des concentrations élevées de Na^+ les vacuoles et l'espace des parois cellulaires par où ils pénètrent les éléments nutritifs. Dans ce système la concentration de Na dans le cytoplasme et les organites se situent entre 100 et 150 mol.m^{-3} .

Cet ion est séquestré dans la vacuole jusqu'à saturation et arrête de l'absorption nette. Le flux de sodium sera alors dirigé soit vers le cytoplasme soit vers la paroi, entraînant ainsi une intoxication ou une déshydratation de la cellule.

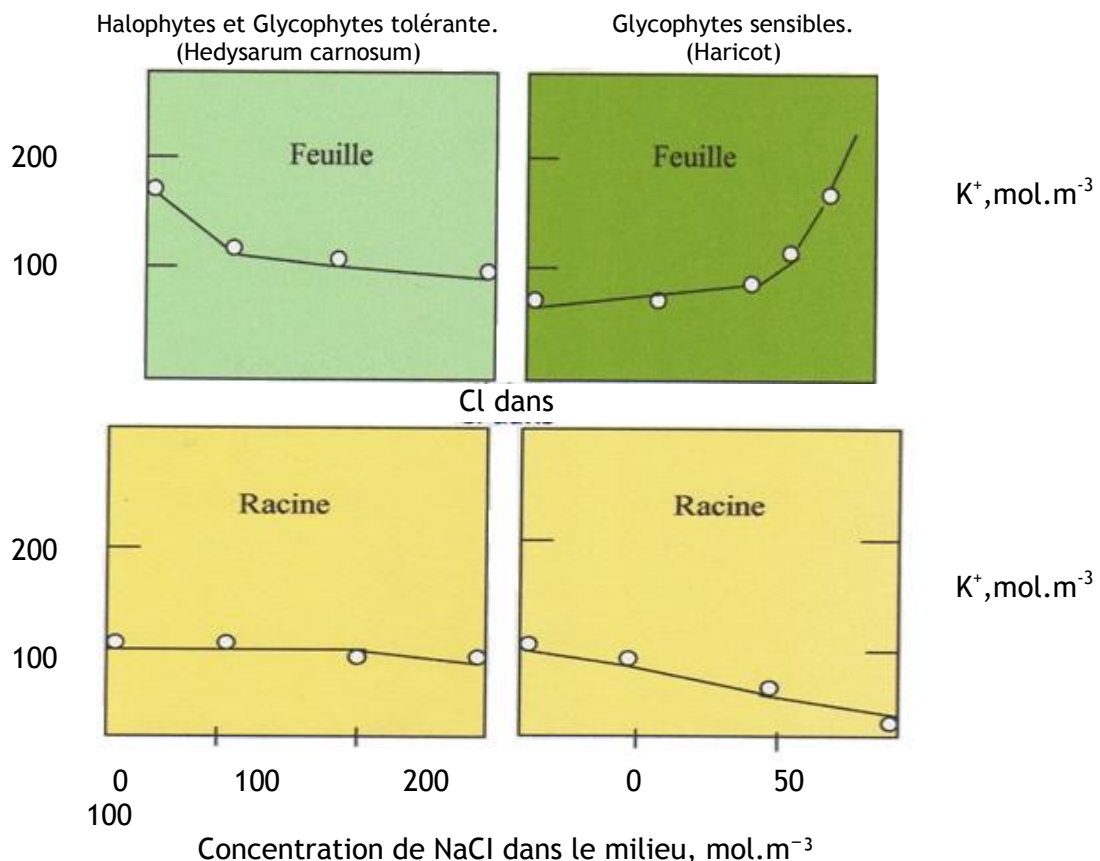


Figure 9: concentration de K^+ dans les feuilles et les racines : discrimination entre Halophytes et Glycophytes tolérants d'une part, et Glycophytes sensibles d'autre part (HAJJI *et al.*, 1999).

2.8. Transport du NaCl dans la plante entière

Le trajet des ions Na^+ prélevés dans le milieu extérieur par les poils absorbants de la racine et exportés vers les parties aériennes comprend quatre étapes essentielles qui sont:

- ❖ L'absorption, l'entrée de Na^+ dans le symplasme, par les racines au niveau des cellules épidermique et corticales.
- ❖ La conduction radiale jusqu'aux vaisseaux de xylème.
- ❖ La sécrétion dans les systèmes vasculaires de la stèle.
- ❖ La conduction dans la sève xylémique jusqu'aux parties aériennes.

A chacune de ces étapes, des mécanismes peuvent être mis en place par le NaCl et mieux s'adapter à la contrainte saline.

2.9. Lessivages des sels

L'eau supplémentaire par rapport aux besoins de la plante pendant sa croissance, permet le lessivage des sels en dehors de la zone racinaire.

Pour cela, il est utile d'évaluer les besoins de lessivage en matière de conduite de l'irrigation permettent de déterminer la dose de lessivage :

$$LR = CE_w / 5CE_e - CE_z \dots \dots \dots (11)$$

LR: le besoins minimum de lessivage nécessaire au maintien des sels à l'intérieur de la zone de tolérance (CE_e) de la culture.

CE_w : salinité de l'eau d'irrigation (dS.m^{-1})

CE_e : salinité moyenne du sol tolérée par la culture.

L'équation (2) donne la hauteur totale d'eau qui doit être appliquée annuellement pour répondre aux besoins de la culture et de lessivage

$$A_w = ET / (1-LR) \dots \dots \dots (12)$$

A_w : hauteur d'eau appliquée (mn.an^{-1})

ET : besoins en eau de la culture (mn.an^{-1})

LR: besoins de lessivages exprimés sous forme de fraction de lessivage.

Il faut tenir compte de l'eau de pluie lors du calcul des besoins de lessivage car elle est efficace et satisfait à la fois l'évapotranspiration et les besoins de lessivage.

En effet, l'eau de pluie présente l'avantage d'être appliquée uniformément et dépourvue de sel ($CE_w < 0.05 \text{dS.m}^{-1}$). Son efficacité est d'autant plus élevée que son intensité est inférieure à la vitesse d'infiltration du sol. Ainsi elle réduira la

salinité moyenne de l'eau appliquée (CEw) dans le calcul des besoins de lessivage (LR).

Une fois le seuil de tolérance de la culture est dépassé, un calendrier de lessivage est fondamental à établir en veillant à une gestion économique de l'eau. Pour cela, plusieurs techniques sont proposées suite à de longues années d'études et d'observations sur le terrain permettant d'augmenter l'efficacité du lessivage (BEN KHALED *et al.*, 2003).

- Lessivage pendant la saison humide et non pendant la saison sèche
- Recours à des cultures tolérantes au sel
- Réduire les fissures par un labour convenable
- En cas de pluie insuffisante, irriguer avant le début de la saison pluvieuse.

2.10. Stratégies adaptatives au stress salin

La présence de fortes concentrations de sel 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 est associé un stress ionique.

Ce type de stress est lié à la composition en éléments minéraux du sol et les carences en certains ions. (MONNEVEUX et THIS, 1997).

En conséquence du stress salin, un troisième type de stress peut résulter, le stress nutritionnel. En effet des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale.

Selon le degré de la salinité dans le milieu les glycophytes en particulier sont exposées à des modifications de leur comportement morpho-physiologique et biochimique (MEKHALDI, 2007) et minéral (MARTINEZ *et al.*, 2007).

2.10.1. Ajustement osmotique

Les plantes réagissent à ces variations de la salinité dans le biotope, soit pour disparaître ou déclencher des mécanismes de résistance. Parmi ces mécanismes, l'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à la contrainte.

En effet la tolérance dans le cas d'un abaissement du potentiel hydrique, s'exprime par un maintien de la turgescence (MOINUDDIN *et al.*, 2005). Grâce au phénomène d'ajustement osmotique.

En conditions de salinité, l'ajustement osmotique est l'un des mécanismes d'adaptation aux contraintes hydriques du milieu chez de nombreux halophytes et glycophytes dont les plantes cultivées (BAUDOIN *et al.*, 1992).

Ce phénomène apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation au stress ionique et osmotique qui s'exprime par la capacité d'un végétal à accumuler au niveau symplasmique et de manière active des ions tel que les K^+ et Na^+ (PARIDA et DAS, 2005) et Cl^- ou de composés organiques tels que les sucres solubles et certains amino- acides comme la proline.

L'osmorégulation permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes et la proline semble jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosol- vacuole et de régulation du pH (MANSOUR *et al.*, 2003).

L'ajustement osmotique protège donc les structures cellulaires et réduit les dommages oxydants provoqués par les radicaux libres, produits en réponse à la salinité élevée (SANNADA *et al.*, 1995).

L'utilisation de la mesure de l'ajustement osmotique comme critère de sélection en conditions de sécheresse ou de déficit en eau a été proposé par (BELLINGER *et al.*, 1989). En effet, en conditions de déficit en eau les variétés de blé à haute capacité d'ajustement osmotique donnent de meilleurs rendements que celles dont la capacité d'ajustement est réduite.

Il a été proposé des tests de sélection reposant sur ce caractère physiologique.

2.10.2. Accumulation de la proline

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

Les composés qui s'accumulent le plus sont généralement la bêtaïne, la proline et la glycine bêtaïne, bien que d'autres molécules puissent s'accumuler aux concentrations élevées dans certaines espèces (BELKHODJA et BIDAI, 2003).

Il a été démontré que certains composés notamment les sucres solubles et la proline s'accumulent dans les tissus des plantes cultivées sous stress salin

(LARHER *et al.*, 1991). Cependant, les éléments les plus souvent associés à la tolérance des plantes à la salinité sont des molécules azotées comme la glycine bétaine, les polyamines ou des acides aminés telle la proline.

La proline est l'acide aminé le plus communément retrouvé dans les tissus des halophytes poussant dans des environnements salés (BRIENS et LARHER, 1982) ou soumises à un stress salin. Elle représente 80% du pool d'acides aminés dans les cellules du tabac (*Nicotiana tabacum*) adaptées à la croissance sur un milieu 428 mM Na Cl (4% dans les cellules non adaptées).

Les plantes exposées à de hautes concentrations de sel accumulent un soluté organique qui est la proline afin d'ajuster le potentiel osmotique dans le cytoplasme (BELKHODJA et BENKABLIA, 2000).

L'aptitude des plantes à la synthèse et à l'accumulation de la proline n'est pas spécifique aux halophytes (HAYASHI et MURATA, 1998), elle l'est aussi pour de nombreuses glycophytes, chez le pois, l'orge *Hordeum vulgare* L., le tabac et le blé (MEINZER et FEDERMAN, 2000)

Chez *Arabidopsis thaliana*, une augmentation significative de la proline est enregistrée lorsque la plante est soumise à une forte salinité.

La proline accumulée chez les plantes en réponse au stress hydrique ou à la salinité est localisée en premier lieu dans le cytoplasme (LESOAOS, 1978).

Les lieux d'accumulation de la proline au niveau organique, varient d'une espèce à une autre

La plupart des travaux signalent que la proline migre vers les feuilles pour s'y localiser en conditions de stress salin chez l'aubergine le coton et la fève (BELKHODJA, 1996). Par contre, chez l'espèce *Retama retam* stressée au NaCl, l'accumulation de la proline dans les tiges est plus importante que les racines,

L'accumulation de la proline est considérée actuellement comme l'une des manifestations les plus remarquables des stress salin et hydrique. La teneur en proline vient renforcer les mécanismes impliqués dans le maintien et l'amélioration de la stabilité des membranes cellulaires en réponse au stress salin. (ALEM et AMRI, 2005).

Dans une étude l'analyse des résultats biochimiques, montre que l'accumulation de la proline chez *Vigna radiata* L. a réagi à la salinité (MEKHALDI, 2007)

De nombreux travaux mettent en évidence une richesse en proline des parties aériennes et en particulier les feuilles chez plusieurs espèces telle que *Atriplex halimus* (BELKHODJA et BIDAI, 2004).

En conditions salines, l'accumulation de la proline est souvent liée à celle des ions Na^+ et K^+ . Le rôle osmoprotecteur de la proline a été signalé par de nombreux auteurs.

La proline a un rôle osmorégulateur dont le pouvoir protège le système membranaire lors de la déshydratation des différents tissus (BELLINGER *et al.*, 1989).

Dans l'étude menée par (BELKHODJA et BIDAI, 2003) sur les marqueurs de la résistance de *Atriplex halimus L.* à la salinité montre que l'accumulation de la proline varie selon l'organe de la plante, la concentration et la nature du traitement salin.

Parmi les rôles de la proline, elle pourrait également avoir un effet stabilisateur sur certaines enzymes comme chez le maïs (*Zea mays*), ou des analogues chimiques de la proline protègent la pyruvate kinase de l'inhibition induite par le NaCl .

L'utilisation de la proline comme critère de discrimination variétale pour la tolérance à divers stress dont la salinité est largement citée, mais la sélection par rapport à ce critère dépend des différences de tolérance entre les variétés étudiées (BROWN et DUPON, 1989).

Toutefois, il semble que la stimulation de la synthèse de la proline soit parallèle à une activation globale d'une voie métabolique partant du glutamate semi aldéhyde et conduisant à la proline. La première enzyme impliquée dans la voie de biosynthèse de la proline à partir du glutamate est la pyrroline 5 carboxylate synthétase (P5CS), (LOPEZ, 1996).

Proline pourraient être une solution à l'amélioration des variétés sensibles aux stress osmotiques.

3. Présentation de l'espèce

Le haricot commun est la principale source de protéines pour l'alimentation humaine dans de nombreux pays en voie de développement. Des statistiques, très imprécises à cause de la nature vivrière de la culture indiquent une production de 13.10^6 tonnes pour une surface de 24.10^6 hectares.

Les rendements mondiaux, de l'ordre de 0,5 t/ha, sont donc extrêmement faibles alors qu'en Europe ou aux USA, ils sont de l'ordre de 1 à 2 t/ha. Parmi ces espèces domestiquées, le haricot commun (*P. vulgaris*) est l'espèce la plus cultivée (plus de 85 % de la production du haricot) dans le monde (BOGGESS *et al.*, 1976).

3.1. Caractères botaniques

Le genre *Phaseolus* comprend plus ou moires 35 espèces dont 5 sont cultivées notamment. Le haricot commun est une plante annuelle herbacée à germination épigée.

Le système racinaire est généralement superficiel et de tendance fascicule. Dans sa partie inferieure et moyenne, les racines latérales portent des nodules de 1 à 5 mm de diamètre Sur le plan architectural , on distingue des plantes d'habitus de croissance détermine arbustif (Type I) , indéterminé arbustif (Type II) , indéterminé prostré (Type III) et indéterminé volubile (Type IV) (C.I.A.T, 1987) .

Les feuilles sont simples (primaires), opposées cordiformes, auriculées et acuminées alors que les autres feuilles sont trifoliolées et altères avec les folioles glabres ou partiellement glabres de forme presque ovale ou triangulaire, possédant des pétioles et des stipelles.

L'inflorescence est une grappe principale composée de grappes secondaires. La fleur asymétrique comprend un pédicelle glabre ou partiellement glabre, un calice gamosépale campanule, une corolle pentamère et papilionacée, un androcée de dix amines dont neuf sont soudées a leurs bases, un gynécée avec l'ovaire comprime et le style courbe .Le fruit qui en émule est une gousse déhiscente généralement ou partiellement glabre. La durée du cycle varis de 60 à 150 jours (ADAMS *et al.*, 1985) .



Figure 10 : Les différents stades de germination. Nouveau Manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences UNESCO 1973, reproduit avec la permission de l'UNESCO.

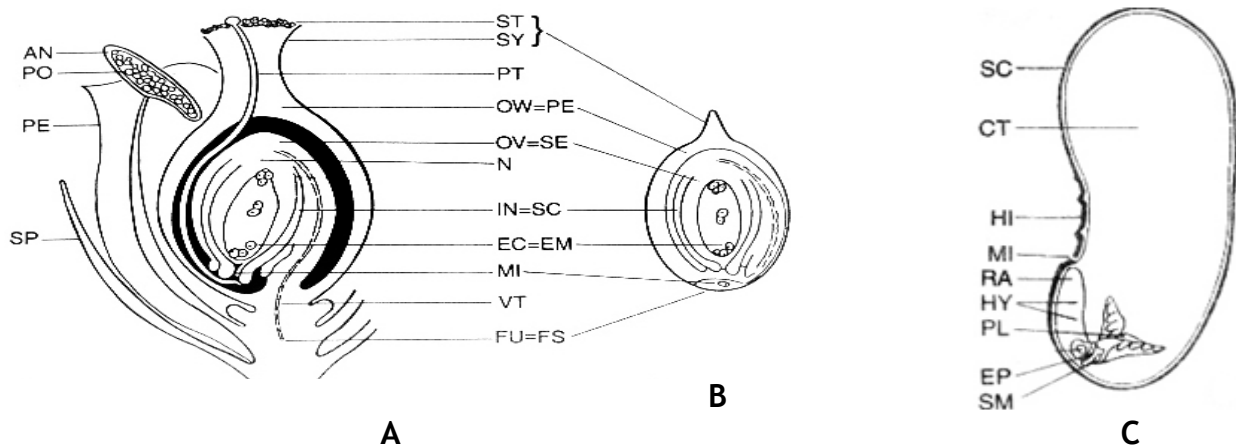


Figure 11 : Représentation schématique de l'anatomie comparée d'une fleur, d'un fruit et de graines. Coupes longitudinales d'une fleur de dicotylédones (A), d'un fruit (B), d'une graine de dicotylédones (haricot) (D). AN, anthère ; PO, pollen ; PE, pétale ; SP, sépale ; ST, stigma ; SY, style ; PT, tube pollinique ; OW(PE), paroi de l'ovaire (péricarpe) ; (OV)SE, ovule (graine) ; N, nucelle ; IN(SC), tégument de la graine ; EC(EM), cellule oeuf (embryon de la plante) ; MI, micropyle ; VT, vaisseau vasculaire ; FU(FS), funicule (cicatrice du funicule : hile) ; AL, couche à aleurone ; EN, endosperme ; ST, scutellum ; CO, coléoptile ; SH, tige ; RA, radicule ; CT, cotylédon ; HI, hile ; HY, hypocotyle ; PL, plumule ou tige ; EP, épicotyle ; SM, méristème de la tige.

3.1.1. Origine et dispersion

Le haricot commun et les haricots du genre *Phaseolus*, sont originaires d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud. Le haricot commun a été domestiqué indépendamment en Amérique centrale (Mexique et Guatemala) et dans les Andes d'Amérique du Sud (principalement le Pérou) pendant plus de 5000 ans et ensuite transporté vers d'autres continents depuis le XVI^e siècle (HAMZA, 1980).

3.1.2. Classification classique

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

3.2. Caractères morphologiques

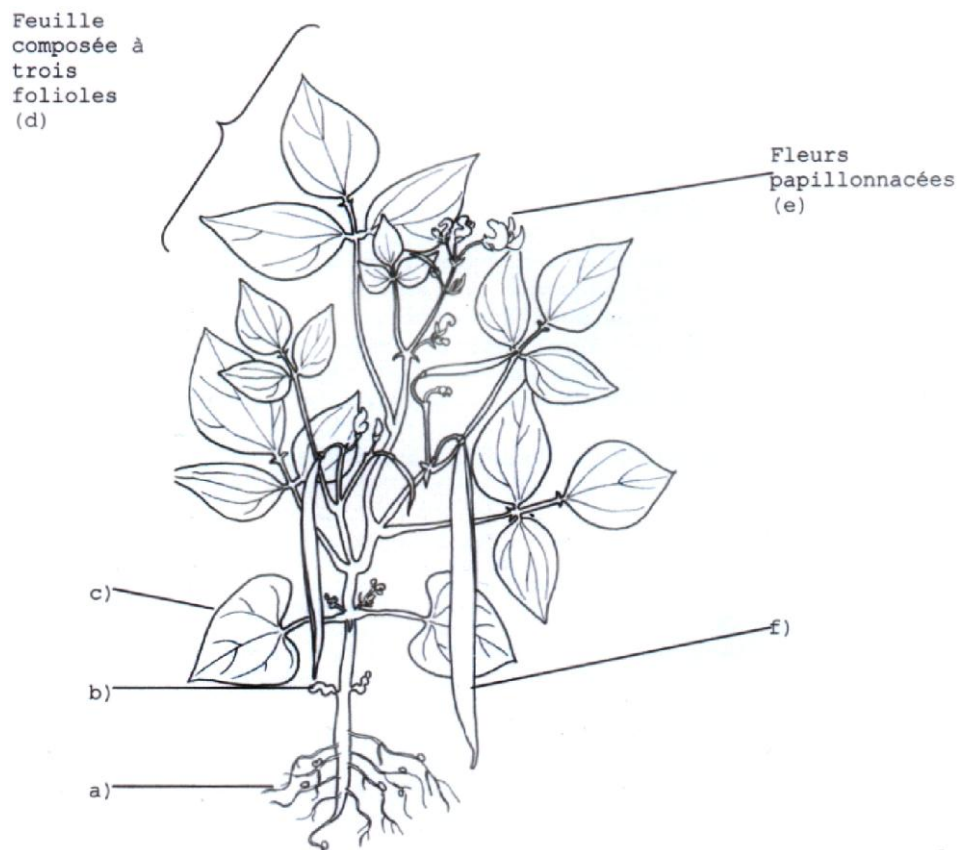


Figure 12 : Caractéristiques morphologiques du haricot :

a) racines, b) cotylédons, c) cataphylle, d) feuille trifoliolée, e) fleur, f) gousse.
(BRUGNOLI et LAUTERI, 1991).

3.3. Exigences du haricot

3.3.1. Exigences climatiques

D'après (GUILLAUME, 2004), le haricot supporte très mal les pluies en cours 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 à 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 400-500mm pendant le cycle de croissance.

Les cultivars insensibles à la photopériode sont ceux originaires 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 habitués de croissance de type IV sont moires tolérants que les autres.

3.3.2. Exigences édaphiques

La profondeur minimale du sol pour la culture du haricot est de 0.2 à 0.5 m, celle optimale doit être supérieure à 1 m ; la profondeur maximale d'enracinement est comprise entre 1 et 1.5m.

Mas 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 (MAS, 1983).

Le haricot commun se développe mieux sur les sols à pH compris entre 6.5-7.5 car la plupart des nutriments pour la plante sont disponibles à un niveau élevé dans cet intervalle (HOWELER, 1980).

3.4. 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.

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.

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).

3.4.1. 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.

De nombreux genres d'arbres forestiers tels qu'*Acacia*, *Anadenathera*, *Calliandra*, *Dalbergia*, *Erythrina*, *Gliricidia*, *Melanoxylon*, *Parkea*, *Prosopis*, *Petrocarpus*, *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 présentées 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.

3.4.1.1. 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*, 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: Superficies et productions du haricot blanc en Algérie (DSA)

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

3.4.1.2. 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, le zinc), (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* (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

3.5. 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* en utilisant les variétés sauvages, que dans les pools géniques secondaires et tertiaires (HELLER *et al.*, 2004).

Chapitre II

Matériel et Méthodes

A. 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 (Photo1) ont séjourné dans un réfrigérateur à 7 °C pendant longtemps en prévision de la levée de dormance



Photo 1 : Graines de *Phaseolus vulgaris* L.

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. (CHADLI, 1997).

B. Méthodes**1. Dispositif expérimental****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 récupéré du bord de la plage a différentes stations : Abdel Malek Ramdane, Sidi Lakhdar et Achaacha (wilaya de Mostaganem) il a subi plusieurs opérations successives de lavage avant l’empotage à des pots remplis de sol a sable normal de chaque stations et un sol avec la bentonite (3 pots a sol normal, et 3 pots avec la bentonite) (ZAMAN *et al.*, 2005)

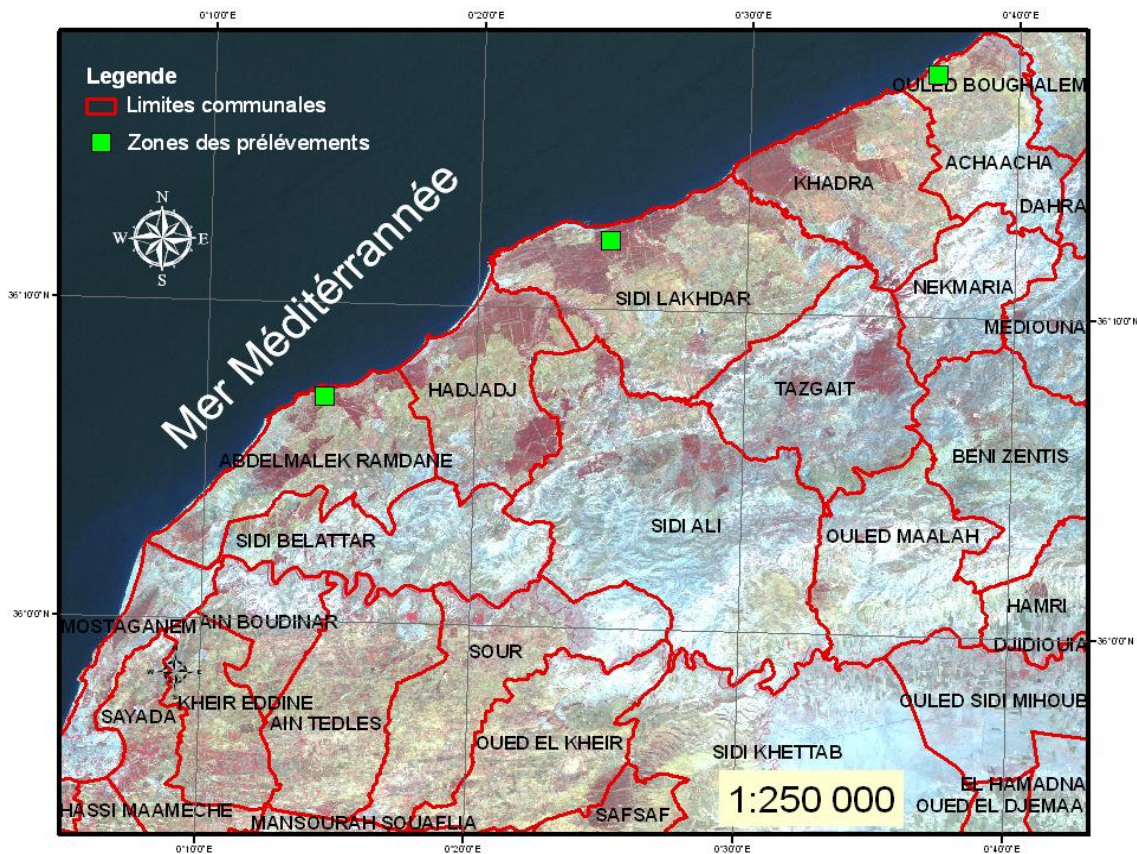


Figure 13: Carte géographique des zones de prélèvements

- ❖ Un tamisage approprié afin de supprimer les différents débris et déchets dans le but d’obtenir un sable fin. (photo2).
- ❖ 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;

- ❖ A la fin de ces préparations, le sable est mélangé avec de bentonite après un posée 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.



Particules de la bentonite



Particules du sol de Benabdel Malek
Ramdane



Particules du sol de Sidi Lakhdar



Particules du sol d'Achaacha

Photo 2 : Agrandissement des particules des substrats utilisés. (10x)

1.1.1. Le Gisement de bentonite

L'argile qui a fait l'objet de notre travail est connue sous le nom de "bentonite". Elle a été prélevée d'un gisement situé à environ 17 Km au Nord-Est de la ville de Mostaganem (M'zila) et comprend 14 couches. Ce gisement a une réserve estimée à environ 2.230 Milliers de tonnes (BENDJAMA, 1984).

La bentonite naturelle a été utilisée à l'état naturel sans préparation. Ce matériau 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.

Tableau 7: composition chimique de la bentonite de Mostaganem

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

Source : BENDJAMA, 1984



Photo 3 : La bentonite

Le mélange d'un matériau granulaire (sable) avec une argile active comme la bentonite donne une composante de faible perméabilité qui est mécaniquement stable et ceci en dépit de la nature contraste des propriétés des constituants en termes de dimension des grains et de l'activité chimique. Elle désigne généralement une poudre minérale constituée essentiellement de l'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 interstratifiées avec l'illite et/ou la kaolinite et d'autres impuretés (KOULOUGHLI, 2007).

1.1.2. Méthodes d'analyses physico-chimiques des sols

1.1.2.1. Détermination de la capacité de rétention

Pour déterminer la dose d'irrigation, nous avons prélevé un échantillon de 100g (P1) 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 (P2).

P1 = Poids humide

P2 = Poids sec

1.1.2.2. Mesure de la Salinité et du pH

Mode opératoire:

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.(photo 04)



Photo 04 : pH mètre

1.1.2.3. La 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. (photo05)



Photo 05 : Conductimètre

1.2. 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 Matmar RELIZANE.

Dosage des anions et des cations

1.2.1. 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.

- Solutions utilisées

- Nitrate d'argent AgNO_3 (0,01) prendre 16,99 g d' AgNO_3 dans un litre d'eau distillée.
- Chromate de potassium 5 % prendre 50g de K_2CrO_4 dans un litre de d'eau distillée.

- Matériel

- Burette de précision.
- Capsule en porcelaine.
- Baguettes d'agitation.

- **Mode d'opérateur**

- 1- Prélever un prise d'essai de 10 à 50 ml de l'extrait ou de l'échantillon d'eau et les transvaser dans une capsule on porcelaine.
- 2- Ajouter 5 à 10 gouttes se la solution saturé de chromate de potassium K_2CrO_4 (5%).
- 3- Titrer avec de l' $AgNO_3$ (0,1N) jusqu'à l'appariation d'une couleur rouge due à la précipitation de l' $AgCrO_4$.
- 4- Effectuer un essai à blanc avec de l'eau distillée.

- **Calcul**
$$\frac{E_v - v' \cdot F \cdot N \cdot D \cdot 1000}{U}$$

$Cl_{(meq.l^{-1})} =$

V: volume d' $AgNO_3$ utilisé pour titrer l'échantillon.

V' : volume d' $AgNO_3$ 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' $AgNO_3$ d'utiliser pour la titration. (0,1n) dans notre exemple.

1.2.2. Dosage des sulfates

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

- **Produit**

- Solution du chlorure de baryum $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ à 10%.
- Dans une fiole de 250 ml : dissoudre 25g du chlorure de baryum dans 200ml d'eau distillée ajouter 12,5ml d' Hcl concentré et compléter à 250ml avec *E.D*

- **Matériel**

- Filtre sans cendres.
- Entonnoirs.
- Etuve de séchage.
- four à moufle.
- Béchers de 250ml.
- Capsules en porcelaines résistantes à la calcination à 500 c° .

- Mode d'opérateur

- 1- Prélever de l'extrait ou de l'eau à analyser 10 à 50 ml et transvaser dans un bécher de 250 ml.
- 2- Porter à douce ébullition à 60-65 c° dans un bain-marie ou bain de sable.
- 3- Faire précipiter les sulfates à chaud en ajoutant à la pipette des gouttes de la solution de baryum. Quand il ne se forme plus précipite ajouter quelques gouttes de baryum en excès.
- 4- Laisser le bécher dans le bain-marie jusqu'à ce que les sulfates soient complètement déposés.
- 5- Filtrer le surnageant en utilisant du papier filtre sans cendres.
- 6- Ajouter 30 à 40 ml d'eau distillée bouillante.
- 7- Laisser le bécher dans le bain-marie jusqu'à dépôt des sulfates.
- 8- Filtrer le surnageant et recommencer cette opération 3 fois.
- 9- Faire passer le précipité sur le filtre à l'aide de l'eau bouillante.
- 10- Laver le précipité à l'eau bouillante jusqu'à l'élimination complètes des chlorures (faire la teste d'AgNO₃).
- 11- Transvaser le filtre contenant le précipité dans une capsule.
- 12- Faire sécher à l'étuve à 105c° pendant une heure.
- 13- Transférer la capsule dans un four à moufle et calciner à 500 c° durant une heure.
- 14- Laisser refroidir la capsule dans le four ; ensuite dans un dessiccateur.
- 15- Peser après refroidissement.

Calcul

$$\frac{B \cdot 8,56 \cdot D \cdot 1000}{V}$$

$$SO_4 \text{ (meq.l}^{-1}\text{)} =$$

B : poids de BaSO₄ précipité.

V : volume de la prise d'essai.

D : inverse du facteur de dilution.

1.2.3. Dosage des carbonates et bicarbonates

L'ors 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.

- **Produits**

- Acide sulfurique 0,01 N.
- Méthyle orange 0,01% soit 10g/l.
- Phénophtaléine à 1% dans l'éthanol, soit 10g/l.

- **Matériel**

- Burette de précision.
- Capsule on porcelaine.
- Baguettes d'agitation ou barreaux magnétiques avec agitateur.

- **Mode d'opérateur**

- 1- Prélever une prise d'essai de 10 à 50 ml de l'extrait ou de l'eau à analyser (V).
- 2- Ajouter 5 à 10 gouttes de phénophtaléine ; en présence de carbonates la couleur devient rouge. Si cette couleur n'apparaît pas ; l'échantillon ne contient pas de carbonates passer alors au dosage des bicarbonates.
- 3- En cas de présence des carbonates, titrer avec de l'acide sulfurique jusqu'à disparition de la couleur rouge, noter le volume d'acide sulfurique utilisé (V₁).
- 4- Dans le même prise d'essai ajouter 5 à 10 gouttes d'orange de méthyle et titrer à l'acide sulfurique jusqu'à disparition de la couleur orange, noter le volume d'acide sulfurique utilisé (V₂).
- 5- effectuer un essai à blanc sur l'eau distillée ; 5 à 10 gouttes d'orange de méthyle et titrer à l'acide sulfurique jusqu'à disparition de la couleur orange, noter le volume d'acide sulfurique utilisé V₃.

- **Calculs**

$$\text{CO}_3^{-2} \text{ (meq.l}^{-1}\text{)} = \frac{2 \cdot V_1 \cdot 0,01 \cdot 1000 \cdot D}{V}$$

$$\text{HCO}_3^{-} \text{ (meq.l}^{-1}\text{)} = \frac{V_2 - V_3 \cdot 0,01 \cdot 1000 \cdot D}{V}$$

V : volume de la prise d'essai.

D : inverse du facteur de dilution.

Ces analyses ont été réalisés au Laboratoire régional Ouest d'analyses des sols et des eaux d'irrigation de l'INSID à El Matmar (Wilaya de Relizane). On a utilisé le spectrophotomètre à absorption atomique pour l'analyse des cations.

1.3. Germination

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



Photo 06 : 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 une 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 radicule se manifestent (DUSSERT *et al.*, 2002).

1.4. Repiquage

Le repiquage a eu lieu après une semaine de germination. Les plantules sont transférées soigneusement à raison de 5 plantules par pot, puis déposées en salle de culture à la température ambiante et à la lumière du jour. (photo 07)



Photo 07 : Plantules en pot, cultivées en salle de culture à la température ambiante et à la lumière du jour

1.5. Préparation des solutions d'arrosage

1.5.1. La 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.

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 (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

1.5.2. Les solutions salines

Elles sont préparées pour le premier protocole d'arrosage à partir d'une combinaison de deux sels, le chlorure de sodium (Na Cl) et le chlorure de calcium CaCl₂. Le (Na Cl) augmente l'absorption de l'eau, mais lorsque sa concentration augmente, il devient toxique. Le chlorure de calcium est un sel soluble moins toxique que Le (Na Cl); 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. De plus, l'usage du CaCl₂ dans cette solution saline 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). En outre, Le (Na Cl) associé au CaCl₂ produit un milieu salin (LESAOS, 1978) alors que la solution avec seulement du (Na Cl), 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

1.5.3. L'irrigation

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

Dés 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. Techniques utilisées pour l'étude anatomique et le dosage de la proline

2. 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 levée » 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 (Photo 08).



Photo 08 : 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 au microscope muni d'un dispositif permettant la prise de photos (Photo 09).



Photo 09 : Microscope photo ZEISS

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 (Photo 10), elles sont observées par un microscope de type ZEISS surmonté d'un phototube ayant servi pour la prise des micrographies.

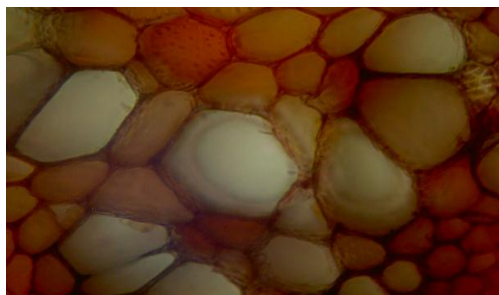


Photo 10 : observation d'une coupe anatomique

3. 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). Ces dernières sont rincées à l'eau de robinet puis séchées rapidement à l'aide de papier filtre.

Les échantillons ont été soigneusement préparés, pesés au moyen d'une balance de précision et enveloppés dans du papier aluminium puis le tout déposé dans une étuve réglée à 80°C durant 48 h. Ensuite les échantillons sont pesés de nouveau pour calculer le poids sec.

Chaque échantillon est remis dans un pilulier et fermé hermétiquement à l'aide d'un bouchon plasma et déposé dans un congélateur en attendant les analyses.

- **Extraction**

Le matériel végétal (100 mg), constitué de racines, de tiges et de feuilles. Le tout est broyé dans 2 ml de méthanol (40%) (Photo 11) puis chauffé au bain marie à 85°C pendant 60mn. Les solutions obtenues sont mises dans des tubes à essai fermés hermétiquement avec du papier aluminium pour éviter l'évaporation du méthanol.



b-Tubes contenant les extraits.

A-Broyage des feuilles

Photo 11 : Technique d'extraction

- Dosage

La proline est dosée par la méthode (DREIER et GORING, 1978). L'extrait de plante (1 ml) est versé dans un tube à essai auquel on ajoute 2 ml d'acide acétique et 25 mg de ninhydrine plus 1 ml du mélange (100 ml d'eau distillée + 300 ml d'acide acétique + 80 ml d'acide orthophosphorique).

La solution est portée à ébullition pendant 30 mn jusqu'à l'apparition de la couleur rouge ; le tout est laissé à refroidir puis 5 ml de toluène sont ajoutés. Après agitation, les deux phases se séparent: la phase supérieure contient la proline et la phase inférieure, les acides gras et les glucides. La phase supérieure est récupérée et déshydratée par l'ajout de Na₂SO₄ anhydre. Enfin, la densité optique des échantillons est lue au moyen d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde 528nm (Photo 12). Une courbe d'étalonnage est préparée dans les mêmes conditions, en remplaçant l'extrait par des quantités équivalentes en proline à concentrations croissantes.



Photo12 -Spectrophotomètre moléculaire.

Chapitre III

Résultats et Discussion

A- Etude de la fraction sol

Un sol est une pellicule d'altération recouvrant une roche; il est formé d'une fraction minérale et de matière organique (humus). Un sol prend naissance à partir de la roche puis il évolue sous l'action des facteurs du milieu, essentiellement le climat et la végétation. La pédologie est l'étude des sols.

La pédogenèse est la formation et l'évolution des sols. Le sol apparait, s'approfondit et se différencie en strates superposées, les horizons pédologiques, qui forment le profil pédologique. Il atteint finalement un état d'équilibre avec la végétation et le climat.

1. La capacité de rétention

Les résultats obtenus sur la capacité de rétention des sols des trois stations sont illustrés sur les tableaux ci-dessous avec des valeurs en pourcentage.

Tableau 10 : Données en pourcentage des valeurs de la capacité de rétention des sols des trois stations

Abdel Malek Ramdane	sidi Lakhdar	Achaacha
25,5 %	24 %	22 %

2. Le pH du sol :

Les résultats de traitement des sols par une solution fortement acide sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Les données du pH des trois stations

	abdelmalek ramdane		Sidi Lakhdar		Achaacha	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
pH	9,5	7,5	8,5	3,7	9,2	7,4

3. La conductivité électrique

3.1. Station de Benabdelmalek Ramdane

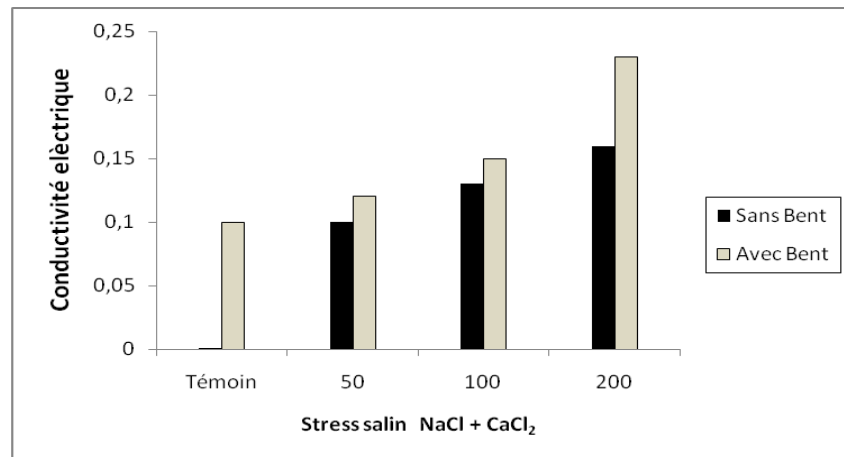


Figure 14: Conductivité électrique en fonction de la concentration des sels.

3.2. Station de Sidi Lakhdar

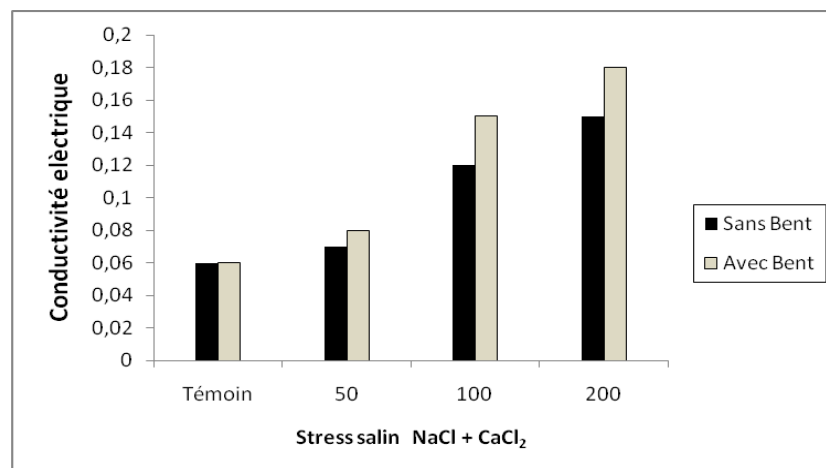


Figure 15: Conductivité électrique en fonction de la concentration des sels.

3.3. Station de Achaacha

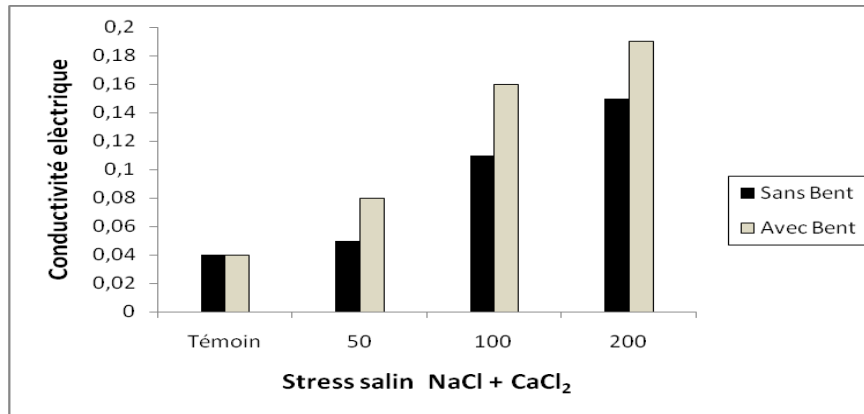


Figure 16: Conductivité électrique en fonction de la concentration des sels.

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

4.1. Station de Benabdelmalek Ramdane

➤ Dosages des anions

Après l'analyse des différents sols utilisés en culture ; les valeurs en concentration (meq.l⁻¹) des sels anioniques (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻) sont présentées ci-dessous.

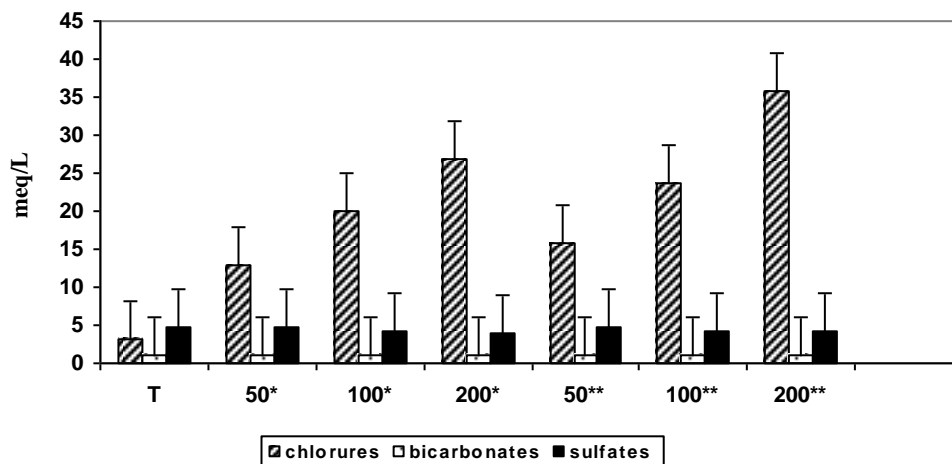


Figure 17: concentration des sels anioniques en fonction des différents traitements
Nomenclature du graphe :

T : SN 50* : SN + SS à 50 meq.l⁻¹ 100* : SN + SS à 100 meq.l⁻¹ 200* : SN + SS à 200 meq.l⁻¹

50** : SN + B + SS à 50 meq.l⁻¹ 100** : SN + B + SS à 100 meq.l⁻¹ 200** : SN + B + SS à 200 meq.l⁻¹

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 en 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 concentration en chlorures à cause de la solution saline ajoutée à la solution nutritive. Cette augmentation est proportionnelle à l'augmentation de la concentration saline (NaCl + CaCl₂).

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%).

➤ Dosages des cations

Les résultats du dosage des cations (Na⁺, K⁺, Mg²⁺ et Ca²⁺) sont présentés sous forme de graphe dans la figure ci-dessous.

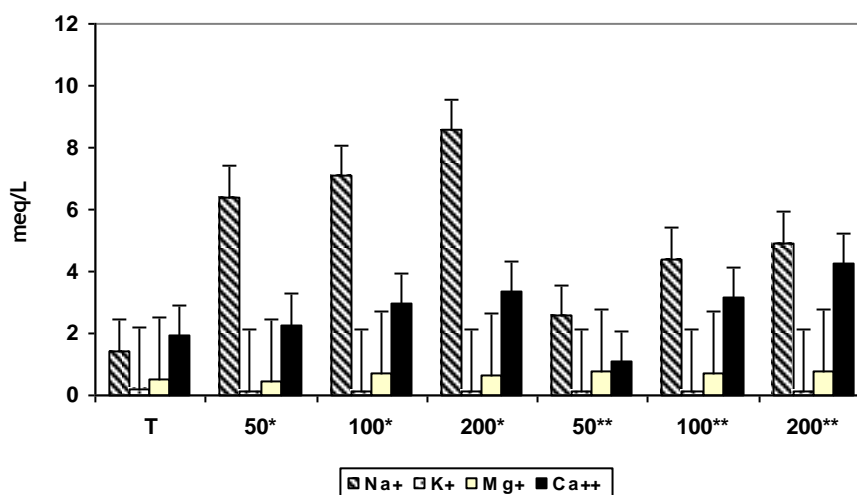


Figure 18: Concentration des sels cationiques en fonction des différents sols

Nomenclature du graphe :

T : SN 50* : SN + SS à 50 meq.l⁻¹ 100* : SN + SS à 100 meq.l⁻¹ 200* : SN + SS à 200 meq.l⁻¹

50** : SN+ B+ SS à 50 meq.l⁻¹ 100** : SN+ B + SS à 100 meq.l⁻¹ 200** : SN+ B+ SS à 200 meq.l⁻¹

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, 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 (CHADLI et BELKHODJA, 2007).

L'ajout de la solution saline (NaCl + CaCl₂) a fait augmenté 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 Ca²⁺ 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'être échangé avec le calcium qui se trouve dans la bentonite en position échangeable.

4.2. Station d'Achaacha

➤ Dosages des anions

L'analyse des différents sols utilisés en culture ; les valeurs en concentration (meq.l⁻¹) des sels anioniques (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻) 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 (NaCl + CaCl₂). 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.

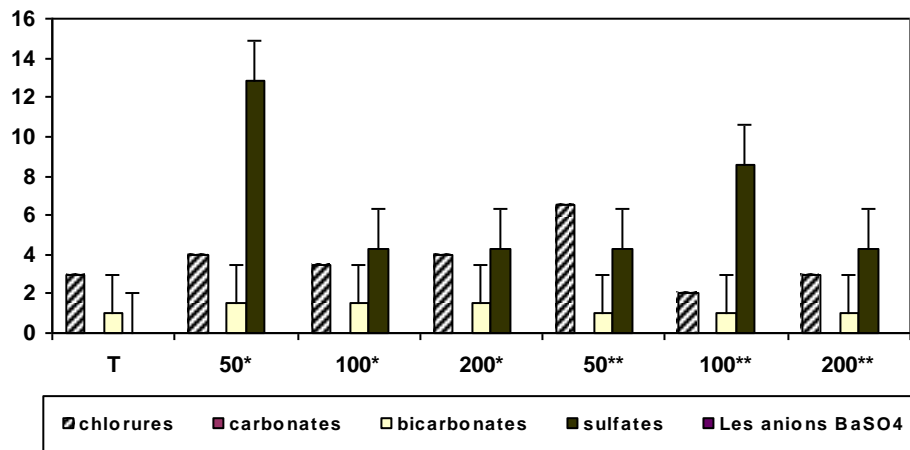


Figure 19: Concentration des sels anioniques en fonction des différents sols

Nomenclature du graphe :

T : SN 50* : SN + SS à 50 meq.l⁻¹ 100* : SN + SS à 100 meq.l⁻¹ 200* : SN + SS à 200 meq.l⁻¹
 50** : SN+ B+ SS à 50 meq.l⁻¹ 100** : SN+ B + SS à 100 meq.l⁻¹ 200** : SN+ B+ SS à 200 meq.l⁻¹

➤ **Dosages des cations**

Les résultats du dosage des cations (Na⁺, K⁺, Mg²⁺ et Ca²⁺) 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 NaCl+CaCl₂ avec ou sans bentonite. En effet, sa teneur passe significativement de 1.42 meq.l⁻¹ chez les témoins sans bentonite à 8,32 meq.l⁻¹. Alors que chez le mélange sable bentonite, les valeurs sont diminuées et atteignent respectivement 4,11 meq.l⁻¹ à 50 et 6,80 meq.l⁻¹ à 100 meq.l⁻¹ de NaCl+CaCl₂ (Figure 20).

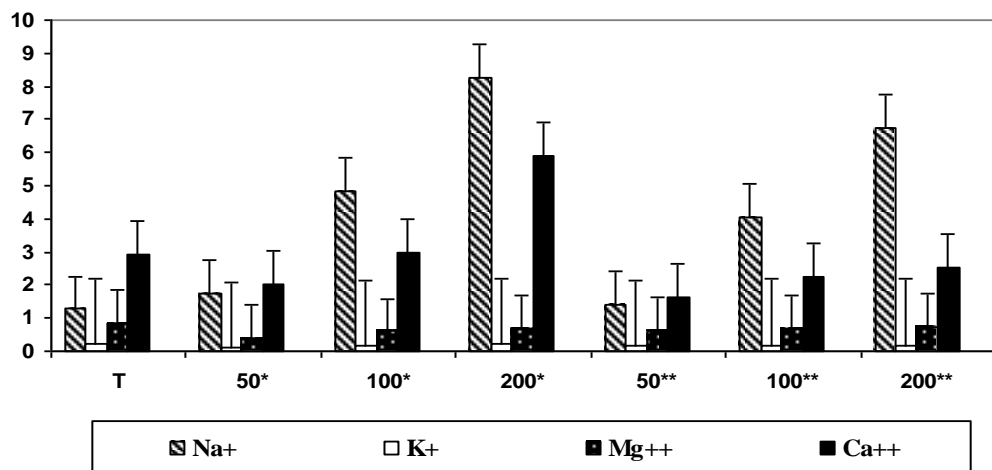


Figure 20: Concentration des sels cationiques en fonction des différents sols

Nomenclature du graphe :

T : SN 50* : SN + SS à 50 meq.l⁻¹ 100* : SN + SS à 100 meq.l⁻¹ 200* : SN + SS à 200 meq.l⁻¹

50** : SN+ B+ SS à 50 meq.l⁻¹ 100** : SN+ B + SS à 100 meq.l⁻¹ 200** : SN+ B+ SS à 200 meq.l⁻¹

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 meq.l⁻¹ chez les témoins sans ou avec bentonite. Ces valeurs resteront constantes quel que 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 + CaCl₂) a fait diminuer la concentration du Na⁺ et du Ca²⁺, ceci peut être expliqué par l'absorption préférentielle de la plante beaucoup plus pour le Ca²⁺ que pour le Na⁺.

4.3. Station de sidi Lakhdar

➤ Dosages des anions

L'analyse des différents sols utilisés en culture ; les valeurs en concentration (meq.l⁻¹) des sels anioniques (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻) sont présentées ci-dessous

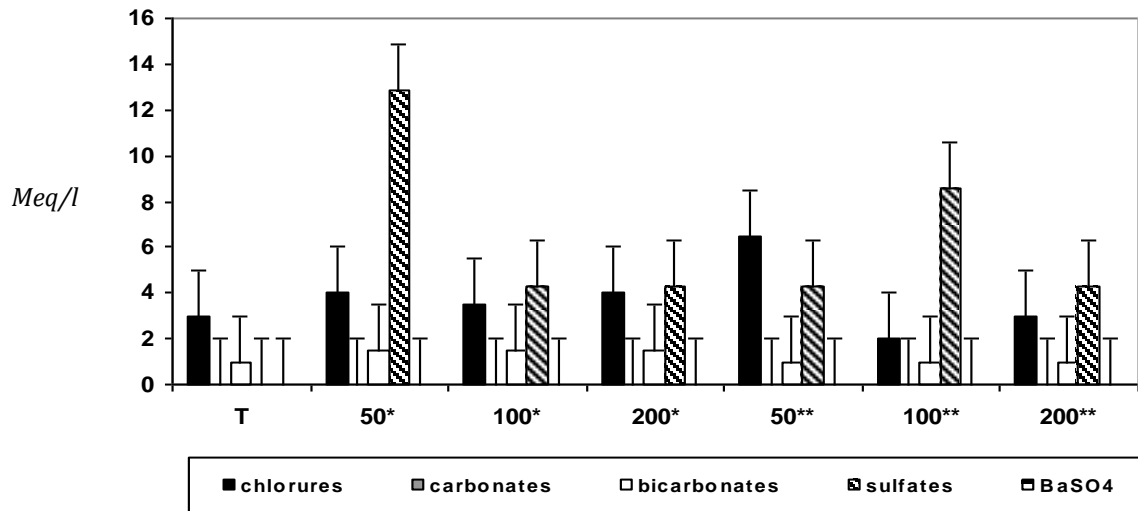


Figure 21: Concentration des sels anioniques en fonction des différents sols.

Nomenclature du graphe :

T : SN 50* : SN + SS à 50 meq.l⁻¹ 100* : SN + SS à 100 meq.l⁻¹ 200* : SN + SS à 200 meq.l⁻¹
 50** : SN+ B+ SS à 50 meq.l⁻¹ 100** : SN+ B + SS à 100 meq.l⁻¹ 200** : SN+ B+ SS à 200 meq.l⁻¹

➤ Dosages des cations

Les résultats sur le dosage des éléments minéraux (Na⁺, K⁺, Mg²⁺ et Ca²⁺) sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Le cation sodium a tendance à s'accumuler davantage lorsque la concentration du milieu augmente quelque soit le traitement apporté avec ou sans bentonite. En effet, sa teneur passe significativement de 1,15 meq.l⁻¹ chez les témoins sans bentonite à 8,70 meq.l⁻¹ avec 200 meq.l⁻¹ de NaCl+CaCl₂. Alors que chez le mélange sable bentonite, les valeurs sont diminuées et atteignent respectivement 4,11 meq.l⁻¹ 7,23 meq.l⁻¹ à 200 meq.l⁻¹ de NaCl+CaCl₂.

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 NaCl+CaCl₂ ; mais à 200 meq.l⁻¹, sa valeur a doublé

pour atteindre 6,43 meq.l⁻¹. 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 meq.l⁻¹ chez les témoins et 2,56 meq.l⁻¹ à 200 meq.l⁻¹ de NaCl+CaCl₂. Quant au potassium (K⁺), il se trouve en faible quantité dans le sol (Figure 22).

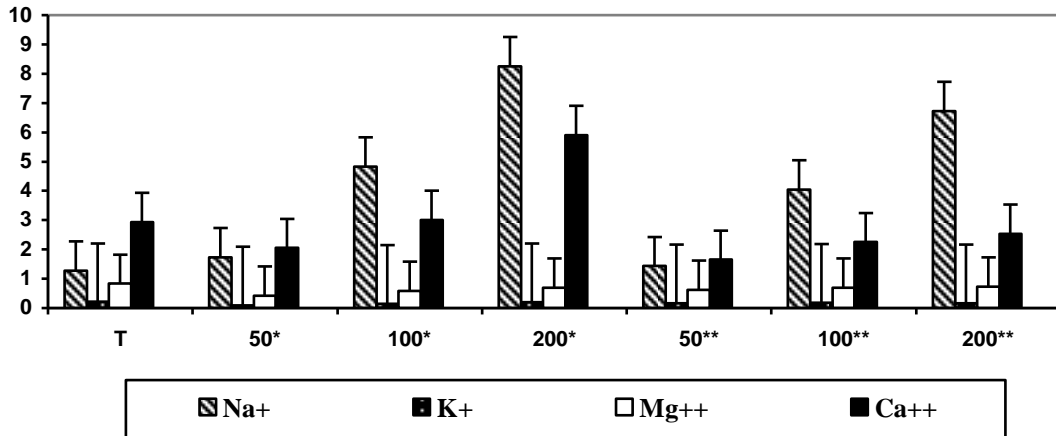


Figure 22: Concentration des sels cationiques en fonction des différents sols

Nomenclature du graphe :

T : SN 50* : SN + SS à 50 meq.l⁻¹ 100* : SN + SS à 100 meq.l⁻¹ 200* : SN + SS à 200 meq.l⁻¹

50** : SN+ B+ SS à 50 meq.l⁻¹ 100** : SN+ B + SS à 100 meq.l⁻¹ 200** : SN+ B+ SS à 200 meq.l⁻¹

5. Etude Anatomique

L'examen microscopique des coupes transversales réalisées dans la région médiane des racines et la région basale des tiges, après les avoir colorées par la technique de double coloration (vert de méthyle/rouge Congo), montre des modifications structurales et qui varient selon le mode de traitement apporté sur *Phaseolus vulgaris. L.*

Les résultats obtenus montrent que le stress se traduit dans les tiges, par une réduction dans le nombre et la taille des vaisseaux conducteurs (CHADLI et BELKHOUDJA, 1997 et CHADLI, 2007).

Par ailleurs, selon (BEKOUCHE, 1992), la salinité semble modifier l'épaississement des parois des cellules des vaisseaux du xylème primaire et des fibres cellulose pericylindrique de la tige principale.

Les racines représentent de légères modifications structurales au niveau du tissu xylémien (Planche 03 et 04).

Aux fortes concentrations de sels (200 meq.l^{-1}) de $(\text{Na Cl} + \text{CaCl}_2)$, les cellules du xylème présentent une légère réduction dans leur diamètre, ainsi que les épaissements des parois.

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

Les zones basales révèlent une réduction de la surface occupée par le tissu du xylème et ceci aux fortes concentrations $100, 200 \text{ meq.l}^{-1}$ de $(\text{NaCl} + \text{CaCl}_2)$ (Planche 05,06).

Au fort grossissement, les mêmes tiges illustrent nettement un relâchement dans l'agencement de leur tissu conducteur et notamment 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.

Les résultats obtenus montrent que quelque soit le traitement apporté, la racine présente de gros vaisseaux comparés à la tige.

Vx : vaisseaux conducteurs
 Ph : Phloème
 Px : Protoxylème
 Mx : Métaxylème
 Pm : parenchyme médulaire
 Pc : parenchyme cortical

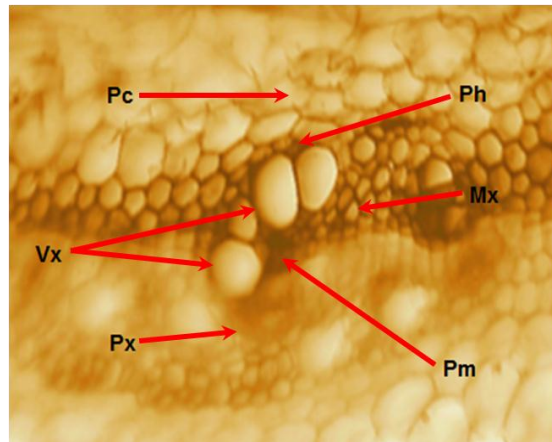


Planche 01 : Coupe transversale de tige de haricot « *Phaseolus vulgaris. L* » réalisée à « main levée » et colorée par la double coloration vert de méthyle / Rouge Congo.

Vx : vaisseaux conducteurs
 Ph : Phloème
 Pm : parenchyme médulaire
 Pc : parenchyme cortical

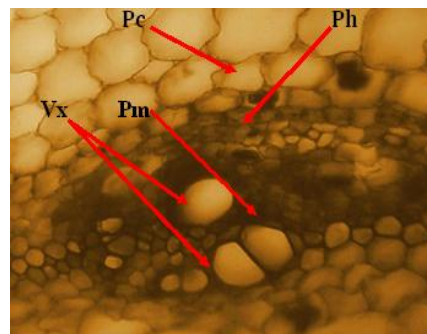
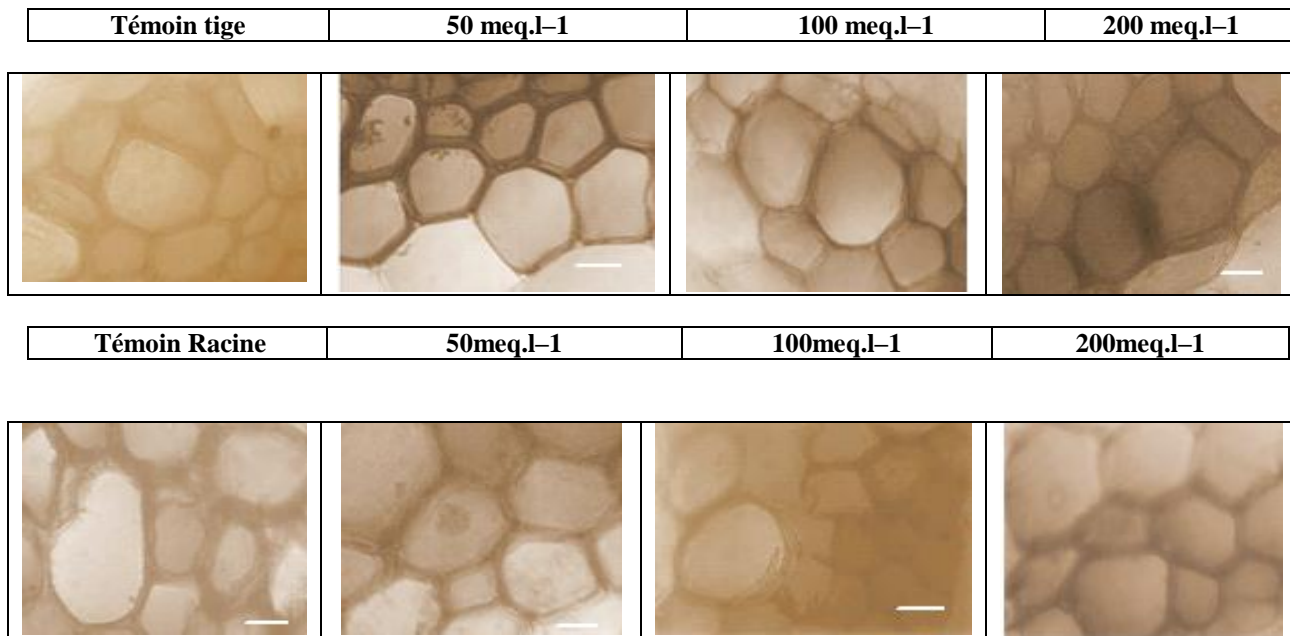


Planche 02 : Coupe transversale de racine d'haricot « *Phaseolus vulgaris. L* » réalisée à « main levée » et colorée par la double coloration vert de méthyle / Rouge Congo.

PLANCHE I
Station Benabdelmalek Ramdane

Anatomie des tiges et des racines de *Phaseolus vulgaris* L. âgé de 21 jours
 cultivées sur sol sableux sans Bentonite



Anatomie des tiges et des racines de *Phaseolus vulgaris* L. âgé de 21 jours
 cultivées sur sol sableux avec Bentonite

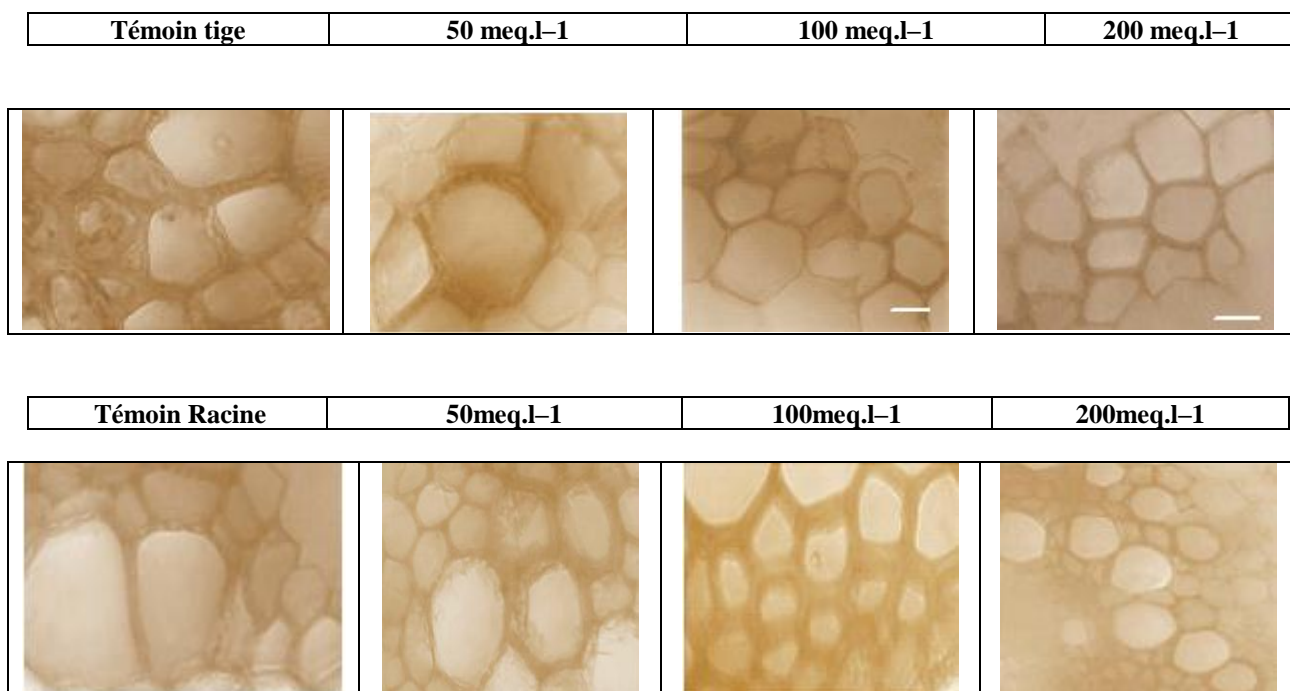
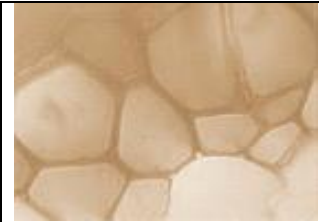
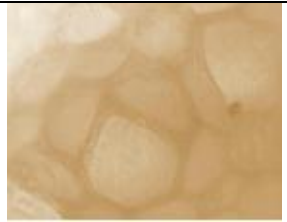
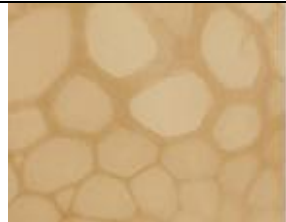
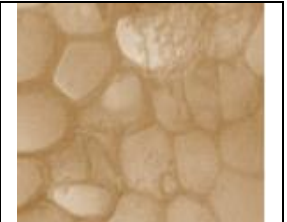
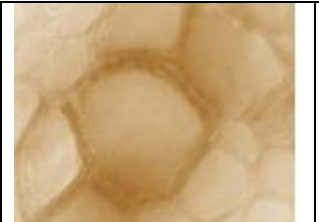
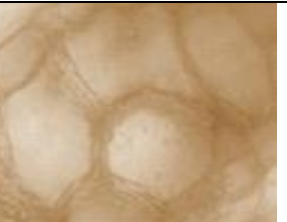




PLANCHE II

Station Sidi Lakhdar

Anatomie des tiges et des racines de *Phaseolus vulgaris* L. âgé de 21 jours
cultivées sur sol sableux sans Bentonite

Témoin tige	50 meq.l-1	100 meq.l-1	200 meq.l-1
			
Témoin Racine	50 meq.l-1	100 meq.l-1	200 meq.l-1
			

Anatomie des tiges et des racines de *Phaseolus vulgaris* L. âgé de 21 jours
cultivées sur sol sableux avec Bentonite

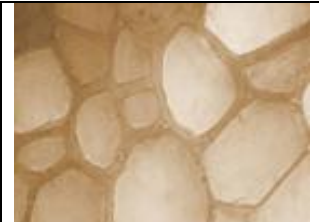
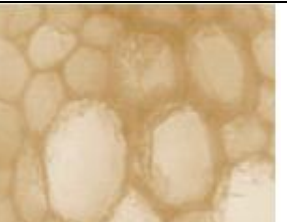


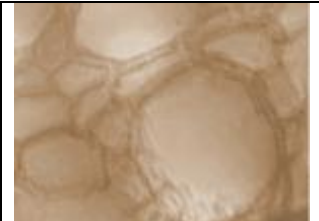
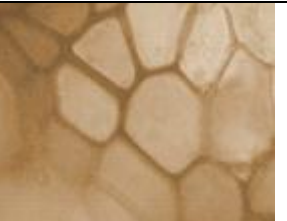
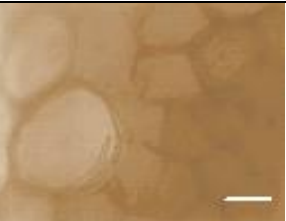
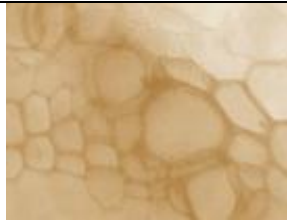
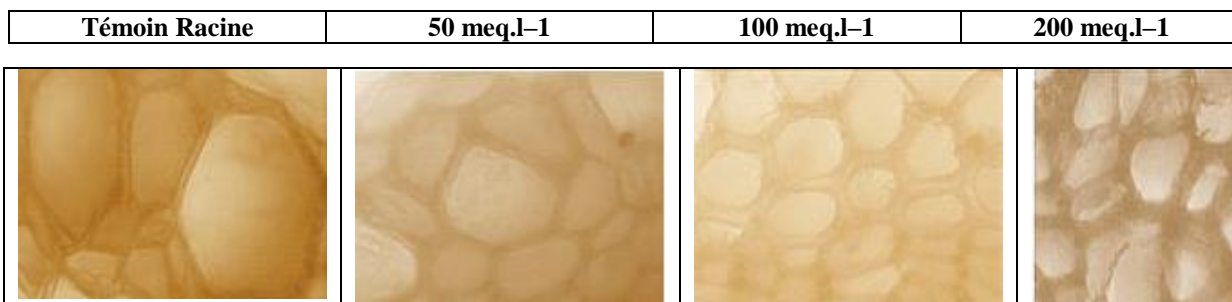
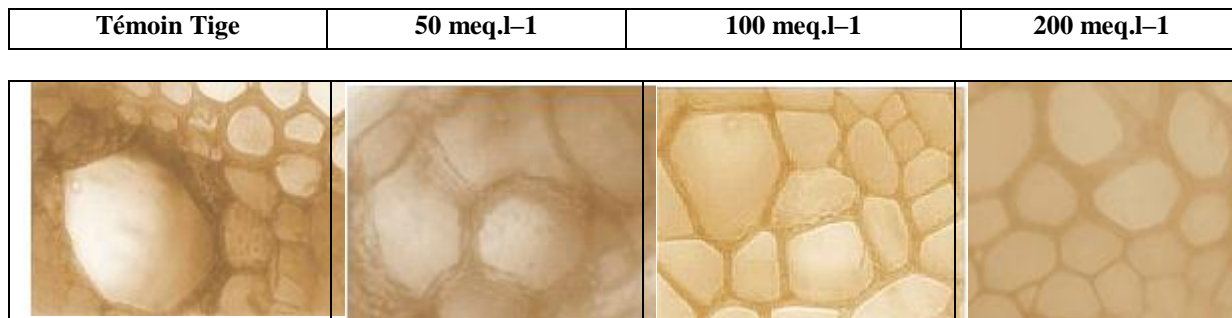
Témoin Tige	50 meq.l-1	100 meq.l-1	200 meq.l-1
			
Témoin Racine	50 meq.l-1	100 meq.l-1	200 meq.l-1
			

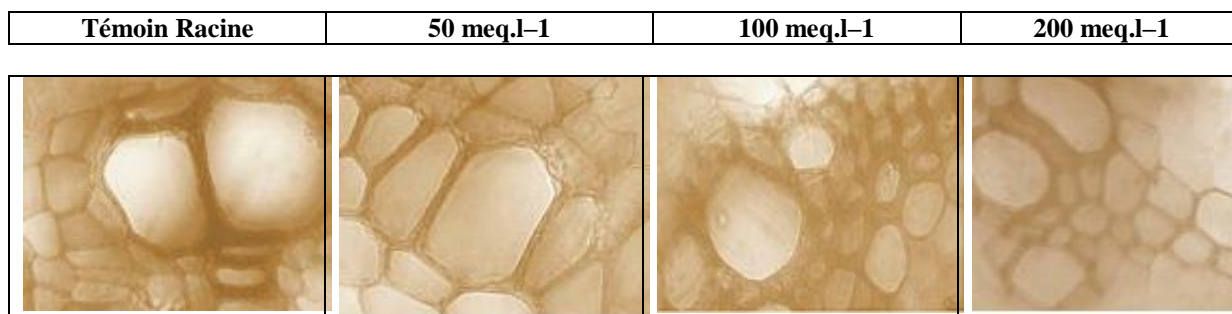
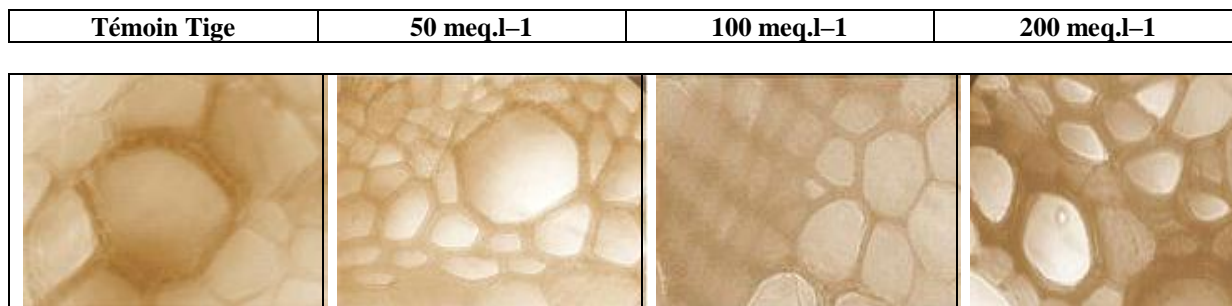
PLANCHE III

Station Achaacha

Anatomie des tiges et des racines de *Phaseolus vulgaris* L. âgé de 21 jours
cultivées sur sol sableux sans Bentonite



Anatomie des tiges et des racines de *Phaseolus vulgaris* L. âgé de 21 jours
cultivées sur sol sableux avec Bentonite



Les racines représentent de légères modifications structurales au niveau du tissu du xylème. Aux fortes concentrations de sels (200 meq.l⁻¹) de (NaCl+CaCl₂), les cellules du xylème présentent une légère réduction dans leur diamètre, ainsi que les épaissements de leur paroi. En présence de la bentonite, les cellules du xylème se montrent affectées et leurs diamètres se rétrécissent au fur et à mesure que la concentration en sel augmente et beaucoup plus à 200 meq.l⁻¹ de (NaCl+CaCl₂).

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

L'ajout de l'argile, cette modification s'accroît que se soit chez les racines ou les tiges.

Au fort grossissement, les mêmes tiges illustrent nettement un relâchement dans l'ajoncement de leur tissu conducteur et notamment 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.

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.

La plupart des plantes sont capables de s'adapter aux environnements salins, cette adaptation s'accompagne par des changements morphologiques, anatomiques et biochimiques (BRUGNOLI et LAUTERI, 1991). Chez les non-halophytes, il y a une grande variabilité des réponses, classée des espèces sensibles aux tolérantes (GREENWAY, 1980). L'effet de la salinité sur la composition lipidique des racines a aussi été étudié dans des espèces différentes, y compris le raisin, la fève et le plantain (HAMZA, 1977). Cependant, le mécanisme d'adaptation des plantes à la salinité n'est pas complètement connu. Le calcium joue un rôle crucial dans le processus métaboliques chez la plante (JOHANNES, 1991 et FLOWERS, 2004) et dans la stabilisation de membranes. Le calcium est connu pour avoir un effet améliorant vis à vis du stress salin sur la croissance des plantes (GREENWAY, 1969). De plus les effets du calcium peuvent être plus importants que ceux du sel de sodium (ACHOUR, 2005).

6. 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.

6.1. Station Ben Abdel Malek Ramdane

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

Les plantules stressées pendant 7 jours (1^{er} stress) montrent une teneur progressive en proline. Chez les témoins sans bentonite, cette teneur est de l'ordre de 0,11 $\mu\text{M. mg. PS}^{-1}$ et de 0,13 pour les témoins avec bentonite (tableau 12). L'apport de sels augmente légèrement la teneur en proline chez les plantes avec et sans bentonite traitées à 100 et 200 meq.l^{-1} pour atteindre des valeurs double voir triple (respectivement de 0,15 à 0,32 et 0,13 à 0,43 $\mu\text{M. mg. PS}^{-1}$ (Figure 23).

Tableau 12 : 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	T	50	100	200
Traitement meq.l^{-1}								
Proline $\mu\text{M. mg. PS}^{-1}$	0,11 ± 0,05	0,15 ± 0,03	0,19 ± 0,09	0,32 ± 0,27	0,13 ± 0,03	0,15 ± 0,08	0,28 ± 0,16	0,43 ± 0,31

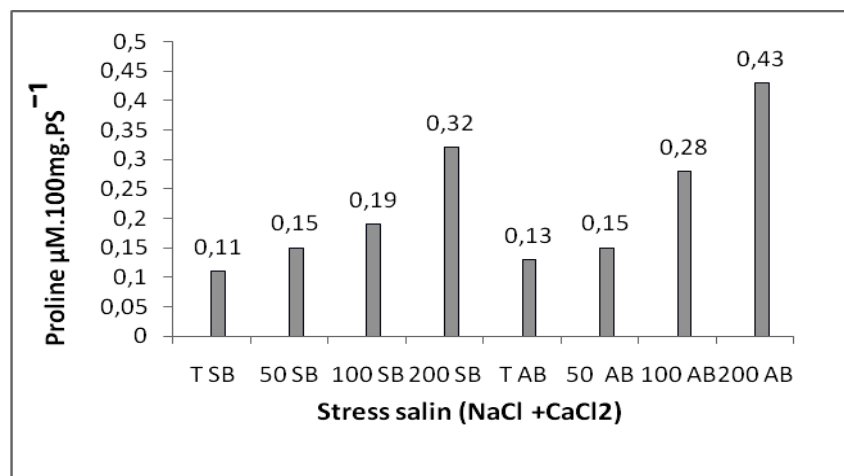


Figure 23 : Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M.100mg.PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl + CaCl₂ de 7 jours

6.1.2 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 $\mu\text{M. mg}^{-1}$ PS (Tableau 13) 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 $\mu\text{M.100mg.PS}^{-1}$ (Figure 24).

Tableau 13 : 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	T	50	100	200
Traitement meq.l ⁻¹								
Proline $\mu\text{M. mg. PS}^{-1}$	0,23 ± 0,01	0,50 ± 0,22	0,34 ± 0,21	0,61 ± 0,32	0,43 ± 0,31	0,60 ± 0,61	0,64 ± 0,40	0,52 ± 0,29

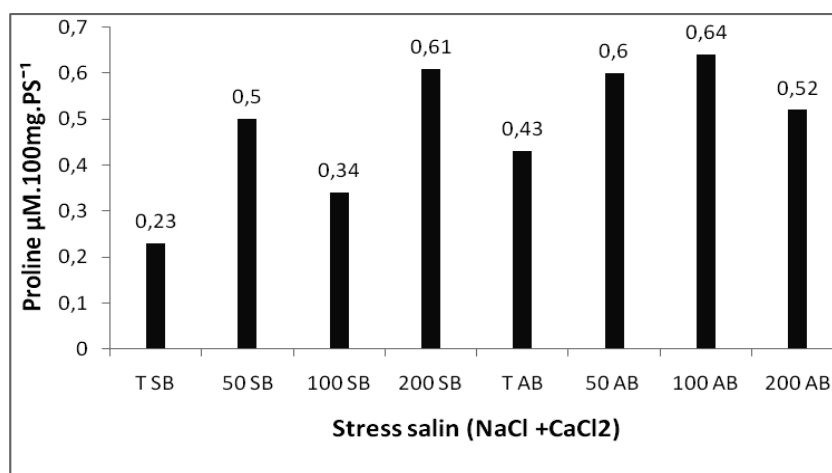


Figure 24 : Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M.100mg.PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl + CaCl₂ de 21 jours

6.2. Station de Sidi Lakhdar

6.2.1 Dosage de la proline des plantes du 1^{ère} 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 $\mu\text{M. mg.PS}^{-1}$ et de 0,54 pour les témoins avec bentonite (tableau 6). Ces valeurs sont doublées pour les (SB) et quadruplées 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 $\mu\text{M. mg. PS}^{-1}$) (Figure 25). A 100 et 200 meq.l^{-1} NaCl + CaCl₂, les valeurs en proline avec bentonite diminuent pour atteindre 0,42 et 0,47 $\mu\text{M. mg.PS}^{-1}$. Alors que chez les plantes poussant sans bentonite, les valeurs sont de l'ordre de 0,32 et 0,56 $\mu\text{M. mg.PS}^{-1}$ (Tableau 14).

Tableau 14: Teneurs en proline endogène chez les plantules du 1^{er} stress aux NaCl + CaCl₂ (7jours) sur un sol avec ou sans bentonite

Sol	Sans bentonite				Avec bentonite			
Traitement meq.l^{-1}	T	50	100	200	T	50	100	200
Proline $\mu\text{M. mg. PS}^{-1}$	0,21 ± 0,43	0,49 ± 0,23	0,32 ± 0,19	0,56 ± 0,27	0,54 ± 0,23	0,71 ± 0,31	0,42 ± 0,51	0,47 ± 0,24

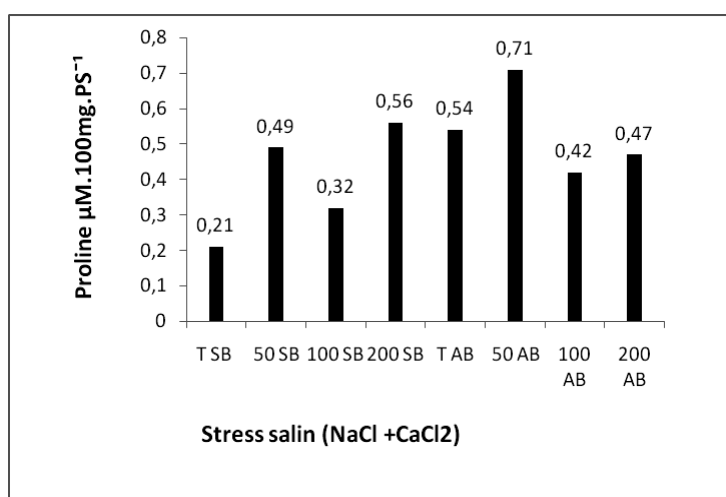


Figure 25 : Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M.100mg.PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl + CaCl₂ de 7 jours

6.2.2 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 0,13 $\mu\text{M. mg}^{-1}$ PS (Figure 26) 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 $\mu\text{M.100mg.PS}^{-1}$ (Tableau 15).

Tableau 15 : Teneurs en proline endogène chez les plantules du 2^{ème} stress aux NaCl + CaCl₂ (21jours) sur un sol avec ou sans bentonite

Sol	Sans bentonite				Avec bentonite			
	T	50	100	200	T	50	100	200
Traitement meq.l ⁻¹								
Proline $\mu\text{M. mg. PS}^{-1}$	0,23 ± 0,83	0,25 ± 0,02	0,16 ± 0,10	0,13 ± 0,06	0,19 ± 0,36	0,14 ± 0,08	0,22 ± 0,12	0,11 ± 0,05

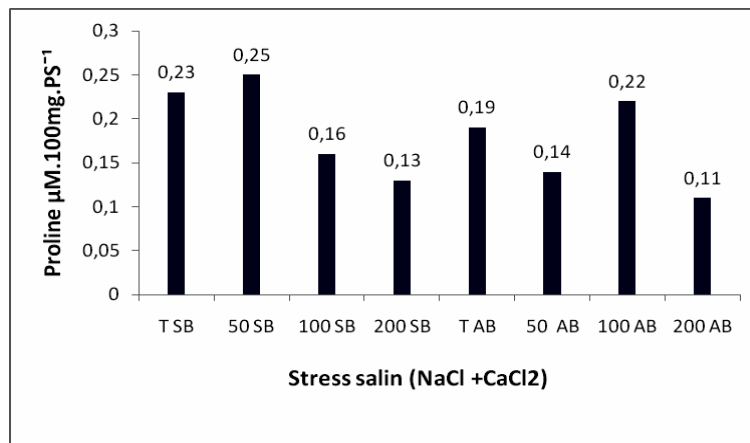


Figure 26 : Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M.100mg.PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L.après un stress aux NaCl +CaCl₂ de 21jours

6.3 Station d'Achaacha

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

Les plantules stressées à 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 0,19 $\mu\text{M. mg.PS}^{-1}$ et de 0,27 pour les témoins avec bentonite (Figure 27). 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 $\mu\text{M. mg. PS}^{-1}$. 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 $\mu\text{M. mg.PS}^{-1}$ (Tableau 16).

Tableau 16 : 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	T	50	100	200
Traitement meq.l^{-1}								
Proline $\mu\text{M. mg. PS}^{-1}$	0,19 ± 0,11	0,36 ± 0,32	0,42 ± 0,12	0,51 ± 0,21	0,27 ± 0,04	0,63 ± 0,13	0,48 ± 0,21	0,51 ± 0,08

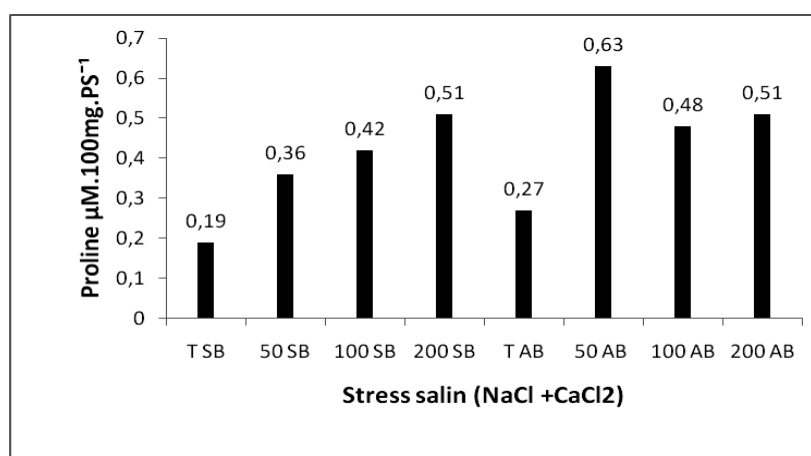


Figure 27: Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M.100mg.PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl + CaCl₂ de 7 jours

6.3.2 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 $\mu\text{M} \cdot \text{mg}^{-1} \text{PS}$ (Figure 28) 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 $\mu\text{M} \cdot 100\text{mg} \cdot \text{PS}^{-1}$. 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 (Tableau 17).

Tableau 17 : 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	T	50	100	200
Traitement meq.l⁻¹								
Proline $\mu\text{M} \cdot \text{mg} \cdot \text{PS}^{-1}$	0,22	0,25	0,19	0,15	0,19	0,18	0,28	0,16
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
PS-1	0,19	0,05	0,11	0,23	0,17	0,12	0,16	0,03

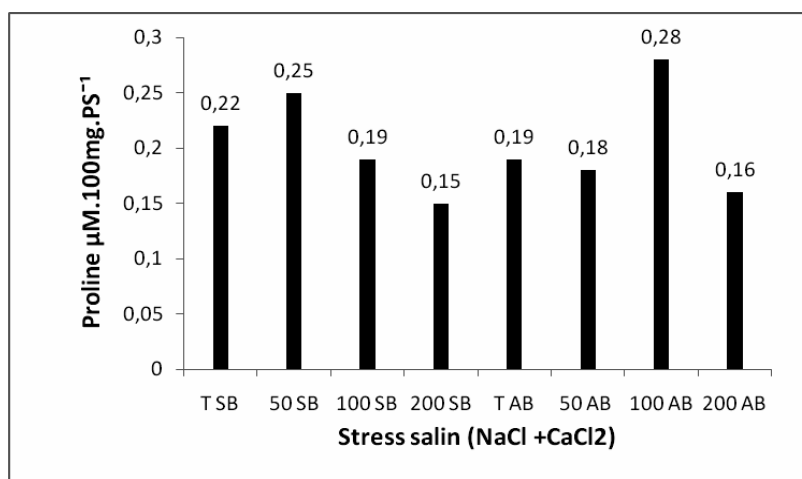


Figure 28 : Teneurs de la proline endogène ($\mu\text{M} \cdot 100\text{mg} \cdot \text{PS}^{-1}$) chez *Phaseolus vulgaris* L. après un stress aux NaCl + CaCl₂ de 21 jours

7. Discussion

Les variations dans la teneur en proline au niveau des organes ont été démontrées chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotiques, hydriques, thermiques) (BELLINGER *et al.*, 1989). Certains auteurs (BOUTELLIER, 1986) pensent que les quantités accumulées pourraient être liées au niveau de la tolérance aux stress. Par contre, d'autres pensent que l'augmentation de la concentration de cet acide aminé sous stress est un produit et non une réponse adaptative au stress (ASHRAF et BAKHTI, 2000). La proline accumulée pourrait jouer un rôle d'osmoticum pour contrer l'excès de sel dans la plante (STEWART et LEE, 1974). La proline pourrait, également, intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique ou constituer une réserve d'azote utilisée par la plante postérieurement à la période du stress (RODRIGUEZ, 2006).

Parallèlement à cette augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress, une baisse dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b) a été, en revanche, enregistrée (MEKHALDI, 2007).

Il existe une certaine proportionnalité inverse, entre les teneurs en proline accumulées et la baisse des teneurs en pigments chlorophylliens chez le riz. La variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et inversement. Ces résultats suggèrent l'existence d'une relation vraisemblable entre les voies de biosynthèse des pigments chlorophylliens et de la proline. Une compétition entre ces deux composés vis-à-vis de leur précurseur commun, le glutamate, peut être à l'origine de cette évolution (REDDY *et al.*, 2004).

En effet, dans les milieux salés, les plantes ajustent osmotiquement leur contenu cellulaire en synthétisant des acides aminés comme la proline (ASHRAF et BAKHTI, 2000). L'accumulation de la proline est une des stratégies adaptatives déclenchées par la plante face aux contraintes de l'environnement. Chez les halophytes, la proline est un marqueur intéressant pour évaluer leur résistance au stress salin (HEYSER *et al.*, 1989). Ces plantes possèdent en effet des capacités pour maintenir un potentiel hydrique interne bas sous la contrainte saline du milieu

(PENG *et al.*, 2004) créant une pression de turgescence suffisante pour leur croissance sans affecter leur métabolisme (JOHANNES *et al.*, 1990).

De nombreux travaux rapportent que la proline s'accumule dans la plante lorsqu'elle se trouve en conditions défavorables ce qui traduit le caractère de la résistance aux stress (GREENWAY et MUNNS, 1980). Chez les plantes sensibles, la présence de cet acide aminé est par contre amoindrie. Selon (MELONI *et al.*, 2004), le rôle attribué à la proline dans la réponse des plantes aux stress reste parfois controversé. Pour (MAAROUF, 1986), son accumulation contribue à l'acquisition de cette résistance grâce au maintien de la turgescence cellulaire chez de nombreuses espèces, créée par l'ajustement osmotique dont la proline est responsable. Le mécanisme de l'accumulation de la proline permet de penser à la présence de sites de résistance de la plante à la contrainte. En effet, le transport de la proline de la source (lieu de synthèse) au site de la résistance est admis depuis longtemps comme un paramètre important dans l'acquisition de cette résistance (BELLINGER *et al.*, 1991). (MEKHALDI, 2007) signale que la proline serait synthétisée dans les feuilles et transportée vers ces sites, tandis que d'autres rapportent que l'acide aminé migre chez diverses plantes glycophytes vers les feuilles et s'y localise chez le sorgho (HUBAC, 1972), le coton (BOUTELIER, 1986), le trèfle d'Alexandrie (BENKHALED *et al.*, 2003), l'*Atriplex halimus* L. (BELKHODJA et BIDAI, 2004 et CHADLI, 2007).

Cette compartimentation foliaire du composé aminé présume que la résistance de cette halophyte à ces niveaux de salinité de l'eau de mer est acquise dans ces organes. Ces résultats sont en accord avec de nombreux travaux sur d'autres halophytes vivants dans des milieux salins (LABDI *et al.*, 2002 et LAUGHLI., 1984). En revanche, pour d'autres espèces, la proline se localiserait dans les racines chez le Retam (IGHIL-HARIZ, 1990), le maïs (RODRIGUEZ *et al.*, 1997 et l'*Atriplex* (ACHOUR, 2005).

Nos résultats montrent aussi que l'accumulation de la proline est ralentie fortement dans les plantes nourries d'une solution de 200 meq.l⁻¹ avec ou sans bentonite et poussant sur sol des deux stations à savoir Sidi Lakhdar et Achacha. Ces valeurs ont comparées à celles des témoins après 21 jours de stress. Alors que le phénomène inverse se produit sur le sol des trois stations ; mais après seulement

une semaine de stress. Le ralentissement de l'accumulation de la proline dans ces organes présume une inhibition de son précurseur (BINZEL *et al.*, 1988 et MEKHALDI, 2007) ou une rapide activité de la proline déshydrogénase, impliquée dans la dégradation de l'acide aminé (PENG *et al.*, 1996) vraisemblablement liée à l'apport de la proline à ce seuil de concentration (50mM) créant un effet antagoniste à la salinité comme le suggèrent, (BIDAI, 2001 et BOUHADDI, 2009). La bentonite se révèle comme un élément inhibiteur dans certains sols tels que ceux de Sidi Lakhdar et Achaacha même après trois semaines de traitement.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Les réponses des plantes aux stress sont très complexes. L'adaptation d'une plante au stress salin implique la mise en place de divers mécanismes qui vont lui permettre de limiter l'invasion de ses cellules par sel et limiter la teneur en certains ions toxiques notamment le Na^+ et le Cl^- , de limiter la déshydratation de ses tissus, de lutter contre le déséquilibre de son métabolisme. Les mécanismes permettant de déclencher les réponses adaptées à l'environnement.

Pour des raisons économiques et environnementales, l'agriculture a aujourd'hui intérêt à ménager les sols de son exploitation. Il ne s'agit plus seulement de maximiser la production comme dans le passé, mais également de l'optimiser dans le souci de réduire l'impact environnemental de l'activité humaine.

Notre objectif global est d'étudier les modifications morphologiques, physiologiques et anatomiques de l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) en réponse aux stress salin. La stratégie expérimentale consiste à visualiser et à caractériser les comportements des jeunes plantes par les voies des analyses chimiques (amendement par l'ajout de la bentonite au sable provenant de trois stations différentes et des techniques purement microscopiques afin de mieux connaître la réponse des plantes au stress de la salinité au niveau anatomique ou cellulaire. En outre, le travail proposé porte une attention particulière aux réponses précoces des plantes (*Phaseolus vulgaris* L.) aux stress de la salinité (50-100 et 200 meq.l^{-1} de $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$) avec ou sans bentonite après une durée de croissance de 7 et 21 jours de stress.

Cette étude a été réalisée à l'échelle de l'organe et de la plante entière afin de déterminer les sites d'action du sel et les principaux mécanismes intervenant dans la résistance à la salinité. Par ailleurs, la durée du traitement a été considérée étant un facteur déterminant dans l'expression des résultats. Pour compléter ce travail, il a été indispensable de descendre à l'échelle de la cellule.

Les stress de la salinité (50-100 et 200 meq.l^{-1} de $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$) engendrent dans un premier temps des perturbations physiologiques. Mais très rapidement se déclenchent des mécanismes qui vont rétablir un équilibre. Les conséquences sont ensuite de l'ordre morphologique en effet, on a remarqué que; le développement

racinaire et une faible croissance de la partie aérienne de (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivée sans bentonite ; mais chez les plantes cultivées en présence de la bentonite, les résultats sont fiables car on a remarqué que les plantes cultivées sur le sol de Sidi Lakhdar présentent une croissance à forte biomasse foliaire par rapport au témoin.

L'effet du traitement salin sur l'évolution des cations (Na^+ , K^+ et du Ca^{++}) dans les différents sols de culture des jeunes plantules de *Phaseolus vulgaris* L.) a été retenu avec comme objectif d'établir une relation entre l'interaction de ces éléments et les différents sols dans différents traitements de la plante en vue de dégager certains critères physiologiques impliqués dans la tolérance à la salinité chez l'espèce étudiée.

Les résultats obtenus montrent que le stress se traduit dans les tiges, par une réduction dans le nombre et la taille des vaisseaux conducteurs (CHADLI et BELKHOUDJA, 1997 ; CHADLI, 1999 ; CHADLI et BELKHOUDJA, 2007).

Par ailleurs, selon (BEKOUICHE, 1992), la salinité semble modifier l'épaississement des parois des cellules des vaisseaux du xylème primaire et des fibres cellulose pericyclindrique de la tige principale.

Une grande attention doit être prise pour les zones côtières où l'infiltration d'eau de mer pose un risque important de salinité de l'eau d'irrigation qui est alors pompée depuis des puits. Par exemple en Espagne, la surexploitation des ressources souterraines pour l'agriculture a provoqué une baisse des niveaux d'eau et, par conséquent a provoqué l'intrusion d'eau de mer dans le littoral.

Au vu des résultats précédents, il y'a lieu de penser que le pH peut représenter un paramètre fondamental sur le pouvoir adsorbant de la bentonite.

La mise en valeur agricole de ces sols posera des problèmes difficiles à maîtriser et nécessite une meilleure connaissance du fonctionnement

Sous l'effet de la salinisation, les sols manifestent une évolution structurale défavorable qui influence le comportement hydrodynamique de surface car la salinité des sols étudiés s'accompagne d'une sodisation du complexe d'échange de ces sols.

Nos résultats montrent aussi que l'accumulation de la proline est ralentie fortement dans les plantes nourries d'une solution de 200 meq.l^{-1} avec ou sans bentonite et poussant sur sol des deux stations à savoir Sidi Lakhdar et Achacha.

Ces valeurs ont comparées à celles des témoins après 21 jours de stress. Alors que le phénomène inverse se produit sur le sol des trois stations ; mais après seulement une semaine de stress. Le ralentissement de l'accumulation de la proline dans ces organes présume une inhibition de son précurseur (BINZEL et al., 1988 ; MEKHALDI, 2007) ou une rapide activité de la proline déshydrogénase, impliquée dans la dégradation de l'acide aminé (PENG et al., 1996) vraisemblablement liée à l'apport de la proline à ce seuil de concentration (50mM) créant un effet antagoniste à la salinité comme le suggèrent (BIDAI, 2001 et BOUHADDI, 2009). La bentonite se révèle comme un élément inhibiteur dans certains sols tels que ceux de Sidi Lakhdar et Achaacha même après trois semaines de traitement.

Références
Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHOUR A., 2005** : Bilan minéral et caractérisation des pectines chez *Atriplex halimus* L. stressé à la salinité. Magister en Ecophysiologie végétale, Univ. Es-senia Oran, 82p.
- ADAMS N.W.; COYNE D.P. ; DAVIS J.H.C. ; GRAHAIVI P.M. and 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.
- 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, (1) 20-31. American Society of Agronomy. *Agron J.* (97)1062-1071.
- ASHRAF M. et BAKHTI A.S., 2000**: Effect of salinity on growth and chlorophyll content in rice. *Pak. J. Ind. Res.*, 43: 130-131.
- BASTET G., 1993** : Estimation des propriétés de rétention en eau à l'aide de fonction de pédotransfert : Développement de nouvelles approches. Thèse Université d'Orléans, 123 p.
- BAUDOIN J.P. ; CAMARENA M.F. et SCHMIT V., 1992** : Contribution à une meilleure connaissance de la position phylétique de la légumineuse alimentaire *Phaseolus polyanthus* Grenm. *Bull Rech Agron Gembloux* 27: 167-198.
- BAYUELO J. S.; CRAIG R. and LYNCH J.P., 2002**: Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. *Crop. Sci*, 42, 2184-2192.
- BEKOUCHE H., 1992** : Etude de la germination de quelques Lignées de pois chiche Soumise à la salinité. Croissance et anatomie des tiges et des racines, mémoire DES, bio. Vég., université d'oran.
- BELKHODJA M. ; CHADLI R. and HADJ ZIANE Z., 2000**: The ionic behaviour of Faba bean (*Vicia faba* L.) to salt stress. *Egypt. J. Appl. of Sci.* vol.15 (12) 422-437.
- BELKHODJA M. et BENKABLIA N., 2000**: Proline réponse of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress. *Egypt. J. Agric. Res.*, 78(1)185-195.
- 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

BELKHODJA M. et AIT-SAAD 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. et BIDAI Y., 2004 : Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse*, vol. 4, (15) 456-471.

BELLINGER Y.; BENSOUAD A. and LARHER F., 1989: Physiology breeding of winter cereals for stress environments. *Coll. Montpellier.*N° 3.

BEN KHALED L. ; MORTE GOMEZ A. ; HONBURIA M. et OIHABI A., 2003 : Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le *Rhizobium*. *INRA EDP*

BEN NACEUR M. ; RAHMOUNE C. ; SDIRI H. ; MEDDAHI M.L. 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.

BIDAI Y., 2001: le métabolisme de la proline chez l'*Atriplex halimus* L. stressée à la salinité. Thèse de Magister, Univ. D'Oran, 89 p.

BINZEL M.L. ; HESS F.D.; BRESSAN R.A. and HASEGAWA P.M., 1988 : Intracellular compartmentation of ions in salt adapted tobacco cells. *Plant Physiology.* (86) 607-614.

BOGGESS S.F.; ASPINALL D. and PALEG L.G., 1976: Stress metabolism. IX. The significance of endproduct inhibition of proline synthesis and of compartmentation in relation to stress-induced proline accumulation. *Aust.J.Plant Physiol.* (3) 513-52.

BONNEAU M. et SOUCHIER B., 1994 : Constituants et propriétés du sol. *Pédologie*, 2^{ème} Ed., 385 -391.

BOUHADDI K., 2009 : réponse physiologiques de *Phaseolus vulgaris* L. au stress salin, Faculté de Biologie université d'Oran Magister en Biologie Végétal.

BOUTELIER E., 1986 : Effet du Na Cl sur la physiologie du cotonnier, *Gossypium hirsutum* L. Son rôle dans l'acquisition de la résistance à la sécheresse. Thèse Doc Univer., Paris

BRIENS M. and LARHER F., 1982: Osmoregulation in halophytic higher plants: a comparative study of soluble carbohydrates polyols, betaines and free proline. *Plant Cell. Environ.*, (5) 287-292.

BROWN D. and DUPON F.M., 1989: Lipid composition of plasma membranes prepared from roots of barley (*Hordeum vulgare* L.), effect of salt. *Plant.Physiol.* (90)955-961.

BRUAND A. et 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. and 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 de quelques populations de luzernes annuelles d'Algérie. Thèse de Doctorat, 3^{ème} cycle montpellier.

BUCKLEY T.N., 2005:"The control of stomata by water balance." *New Phytol.* 168(2): 275-292.

BURGHARDT M. and RIEDERER M., 2003: "Ecophysiological relevance of cuticular transpiration of deciduous and evergreen plants in relation to stomatal closure and leaf water potential." *J. Exp. Bot.* 54(389): 1941-1949.

CABUSLAY G.S. and ALEJAR A.A., 2002: Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit, *Plant Sci.* (163) 815-827.

CHADLI R., 2007 : Contribution a l'étude des réponses physiologiques ; anatomiques et cytogénétiques de la fève (*vicia faba* L) au stress de la salinité. Thèse doct. Sciences biologiques universite d'oran es-senia.

CHENAIS F. ; LEGARTO J. ; WIG P. et HAUREZ P., 2003 : Valorisation des maïs "sécheresse".CNES ; Communiqué de Presse ; Les conséquences de la sécheresse vues de l'espace . Toulouse.

CHEVERY C. et ROBERT M., 1993 : Salure des sols magrbiens. Influence sur des propriétés phyco-chimique des sols. Repercussions des modification de ces dernières sur la fertilité, notamment azoteé des sols. ENSA Rennes, 59 p.

CIAT, 1987 : Morphologique de la plante du haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L); cahier d'etude servant de complement a l'unite audiotutorielle sur le meme sujet . Centro Internacional de Agricultura Tropical. cali, colombie . 64 PP

CIAT, 1992: Constraints to and opportunities for improving bean production. A planning document 1993-98. An achievement document 1987-92, CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), Cali, Colombia.

CORNILLON P. et AUGÉ M., 1994 : Salinité adaptation du piment Dossier INRA Agroparc. Avignon.

CRAMER G.R. ; EPSTEIN E. and LAUCHLI A., 1990: Effects of sodium, potassium et calcium on salt-stress barley. I. growth analysis. *Physiol Plant.* (80) 83-88.

DAOUD Y., 1993 : Contribution à l'étude des sols des plaines du chéilif. Le phénomène de salinisation et ses conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux .Thèse Doc. Es. sci I.N.A. Alger. 197p.

DELBART F., 1995 : Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures.* (4) 263-273.

DEMELON A., 1968 : Croissance des végétaux. 6^{ème} édition, Dunon, Paris, 584p.

DREIER W. et 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. et RACHIDAI A., 1995 : Etude de l'effet du traitement salin sur la croissance du blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Actes Inst. Agron. Vet. Hassan II (Maroc).* 16 (1) 33-40.

DUKE J.A., 1992: Handbook of legumes of economic importance, Plenum Press, New York.

DURANTI M. and GIUS C., 1997: Legume seeds: Protein content and nutritional value. *Field Crops Resh,* 53, 31-45.

DUSSERT S. ; CHABRILLANGE N. et ENGELMANN F., 2002 : Cryoconservation ; Biotechnologies végétale : Techniques de laboratoire : Europe média duplication S.A ; Edition TEC et DOC France.105-120.

EL-JAAFRI S. et PAUL R., 1993 : Accumulation foliaire de la proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum*), *Physiol. Biochimi. Biophys.*101-138

EPSTEIN E. ; NORLYN J.D.; RUCH D.W.; KINGSBURY R.W. ; CUNNINGHAM A.F. and WRONA A.F., 1980 : Salineculture of crops : A genetic approach. *Science,* 210 : 399-404.

F.A.O., 2005: Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of SaltaffectedSoils. Rome, Italy: FAO Land and Plant Nutrition Management Service.

FARIA S.M.; LEWIS G.P. ; SPRENT J.I. and SUTHERLAND J.M., 1989: Occurrence of nodulation in the leguminosae. *New Phytol*, 111: 607-619.

FIÈS J.C. and BRUAND A., 1990 : Textural porosity analysis of a silty clay soil using pore volume balance estimation, mercury porosimetry and quantified Backscattered electron scanning image (BESI), *Geoderma* Vol 47 : pp. 209-219.

FLOWERS T.J., 2004: Improving crop salt tolerance, *J. Exp. Bot.*, 55: 307- 319

FLOWERS T.J. and LAUCHLI A., 1983: Inorganic plant nutrition. V3. Sodium versus. potassium: substitution and compartmentation. In: *Encyclopaedia of plant physiology*, New Series, Vol. 15. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 651-681

FRANCHIS L. et IBANEZ F., 2003 : Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens; Rapport Pan Bleu ISBN. Plan d'action pour la méditerranée PNUE. 69p.

GAMA P.B.S. ; INANAGA S. ; TANAKA K. and NAKAZAWA R., 2007: Physiological response of commonbean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress.*African J.of Biot.*Vol. 6 (2) 79-88.

GHOULAM C. et FARES K., 2001: Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Seed Sci Technol*, 29: 357-364.

GORDON A. ; ROSE L.E. ;ALLEN R.L. and ARMSTRONG M.R., 2004: Differential recognition of highly divergent downy mildew avirulence gene alleles by RPP1 resistance genes from two *Arabidopsis* lines. *Plant Cell* 17:1839-50.

GRAHAM P.H. and VANCE C.P., 2003: Legumes: Importance and constraints to greater use. *Plant Physiol*, 131: 872-877.

GREENWAY H., 1969: Growth stimulation by high chloride concentration halophytes. *Isr. J, Bot* 17, p 169 - 177.

GREENWAY H. et MUNNS R., 1980: Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 31:149-190.

GRUIER C., 2010 : thèse doctorat : L'humidité du sol par télédétection micro-ondes en région Sahélienne, l'Université Pierre et Marie Curie

GUILLAUME C., 2004 :l'eau, le sol et les plantes, Master 1 sciences végétales, spectrosciences, 273 p.

HAJJI M. ; LACHAAL M. ; SOLTAN A. et ABDELLY C., 1999 : Réponse des plantes au stress salin : Aspects écophysologiques et biochimiques de la tolérance au sel. Comm. Pres, Agadir, 6-15 Avril.

HALITIM A., 1988 :Sols des régions arides d'Algérie. Thèse de Doctorat d'État, Office des publications universitaires d'Algérie (OPu), 1988.

HAMDY A., 1999: Saline irrigation and management for a sustainable use. In: Advanced Short Course on Saline Irrigation Proceeding, Agadir: 152-227.

HAMZA M., 1980 : Réponse des végétaux à la salinité. *Physiol., Vég.* 18 (1) 69-81.

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

HAYASHI H. and MURATA N.,1998 :Genetically engineered enhancement of salt tolerance in higher plants . In : Sato, K , Murata, N.Ed., stress response of photosynthetic organisme : Molecular Mechanismes Regulation . Elsevier .Amsterdam, 133 -148.

HELLER R. ; ROBERT E. et CLAUDE L., 2004 : la physiologie végétale (tome 1- Nutrition) 6° édition de l'Abrégé Saint-Jean de Braye 323p.

HEYSER J.W. ; DEBRUIN D.; KINCAID M. ;JOHNSON R.Y.; RODRIGUEZ M.M. et ROBINSON N.J., 1989: Characterisation of L [513C] -proline biosynthesis in halophytic and no halophytic suspension cultures by ¹³C NMR. *J. Plant Physiol.*, 135, 459-446.

HILLEL D., 1984 : l'eau et le sol, principes et processus physiques: Edit. Louvain la Neuve, 256 p.

HOAGLAND D. and ARNON D.I., 1938:The water culture method for growing plants without soil.Univers.califor.AES.Cir.(347) 1-36.

HOPKINS W.G., 2003 : Physiologie Végétale.Traduction de la 2ème 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

HUBAC C. et GUERRIER D., 1972 : Etude de la composition en acides aminés de deux carex: le carex stenophylla wahl., très résistant à la sécheresse et le carex setifolia Godion, peu résistant. Effet d'un apport de proline exogène. Oecol. plant. (72) 147-165.

IGHIL HARIZ Z., 1990: Etude du comportement physiologique, biochimique et structurale du Retama retam vis à vis du NaCl. Thèse de Magister, Université d'Oran Algérie, 120 p.

IKEDA T. and ITOH R., 1999: Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environ. Exp. Bot. (42) 211-220.

JOHANNES E. and FELLE H., 1990 : Proton gradient across the tonoplast of Riccia fluitans as a result of the joint action of two electroenzymes. Plant Physiol. (93) 412 - 417

JOHN M., 2004 : Phosphorus translocation in salt- stressed cotton. Physiol Plant (83) 627- 632.

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

KAYMAKANOVA M. et STOEVA N., 2008: Physiological reaction of Bean plants (Phaseolus vulgaris) to salt stress. Gen . Appl. Plant Physiology, special issue , (3-4), 177-188.

KENNEDY A.R., 1995: The evidence for soybean products as cancer preventative agents. J Nutr, 125: 733-743.

KHAN M.H. et PANDA S.K., 2008: Alteration in root lipid peroxidation and antioxidative response in two rice cultivars under NaCl salinity stress. Acta .Physiol, 30.91-89:

KOULOUGHLI S., 2007 : Etude expérimentale des mélanges sable-bentonite 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.

KREIMER G. ; MELKONIAN M. ; HOLTUM J.A. and LATZKO E., 1988: Stromal free Ca⁺⁺ concentration and light mediated activation of chloroplast fructose 1,6 biphosphatase. Plant. Physiol. (86)423-428.

LABDI M. ; AFFAF A. et HAMOU M., 2002 : La tolérance à la sécheresse, une réalité dans le développement de la céréaliculture et l'utilisation des espaces productifs en zones arides et semi-arides. Ecosystème n°2 vol.2. Revue des Sciences de la nature et de l'environnement Sidi-Bel-Abbès.

LARHER F. ; QUEMENER B. et HERVOCHON P.,1991 : L'ajustement osmotique pendant la vie végétative de *Cicer arietinum* L. cultivé en présence de chlorure de sodium . CR Acad Sci Paris. (321) 55-61.

LAUGHLI A., 1984: salt exclusion an adaptation of legumes for crops and pastures under saline conditions in: stapie RC Toenniessen GA eds. Salinity tolerance in plants strategies for crops improvement. Wiley New York, p 177- 187.

LECLERC J.C., 1999 : Ecophysiologie végétale ; Publications de l'Université de Saint-Etienne.173 p.

LEGOUPIL C.J., 1974 : Evaluation de la salure du sol sous irrigation Aménagement est mise en valeur des sols salés. Institut de recherche agronomique tropicale,p8-9.

LESOAOS J., 1978 :Effets du NaCl et du CaCl₂ sur la croissance du *Cochlearia Anglica*.Soc.Bot.(3) 453-459.

LEVIGNERON A. ; LOPEZ F. et DELBART F., 1995 : Les plantes face au stress salin. Cah. Agric. 4, p. 263-273.

LI J. ;WANG X. ;WATSON M.B. and ASSMANN S.M., 2000: "Regulation of abscisic acid-induced stomatal closure and anion channels by guard cell AAPK kinase." Science 287(5451): 300-303.

LOPEZ F., 1996 : Identification et étude de l'expression de deux gènes en réponse au stress salin chez *Raphanus sativus*.Thèse de Doctorat Sciences et Techniques du Languedoc,Université de Montpellier 133p.

MALLEK M.E. ; BOULASNEM F. et BEN SALEM M., 1998 : Effet de la salinité sur la germination de graines de céréales cultivées en Tunisie. Cahiers Agricultures. (2)153-6.

MANSOUR M.M.; SALAMA F.Z.; ALI M. and ABOU HADID A.F., 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.

MAROUF A., 1986: Effet de la salinité sur la réduction du nitrate chez deux luzernes annuelles : *M. ciliaris* et *M. truncatula*. Thèse de Magister, Univ d'Oran, 116p.

MARTINEZ J.P.; SILVA H.; LEDENT J.F. and PINTO M., 2007: Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy* 26: 30-38

MAS Y., 1983: World vegetation . Principles, production and nutritives values.

MEINZER F.C. and FEDERMAN E., 2000: Leaf development, transpiration and ion uptake and distribution in sugarcane cultivars grown under salinity. *Plant. Soil.* (218) 59-69.

MEKHALDI A., 2007 : Comportements physiologiques et biochimiques chez le Mung Bean (*Vigna radiata* Wilczek) stressé à la salinité Thèse de Doctorat d'Etat. Es-Senia Oran, 119 p.

MELONI D.A. ; OLIVA M.A. ; RUIZ HA. and MARTINEZ C.A., 2001: Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant Nutr.* 24 (3) 599-612.

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.

MOHAMMED T.H. et 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 R.A. ; FISCHER K.D. and REYNOLDS M.P., 2005: Osmotic Adjustment in Wheat in Relation to Grain Yield under Water Deficit Environments.

MONNEVEUX P. et THIS D., 1997 : La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse: espoirs et difficultés. *Sécheresse*, Vol.8,(1) 29-37.

MOSINIAK-BESSELES M., 1987 : Contribution à l'étude des oscillations spontanées de l'assemblage cellulosique dans les parois des cellules végétales. These de Doct D'Etat, PARISVI, 190p.

- MUNNS R., 2002:** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* (25) 239-250.
- NAVARRO J.M. ; GARRIDO C. ;CARVAJAL M. and MARTINEZ V., 2002:** Yield and fruit quality of pepper plants under sulphate and chloride salinity. *J. Hort. Sci. Biotech.* (77) 52-57.
- PARIDA A.K. and DAS A.B., 2005 :** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* (60) 324-349
- PEDRO G., 1994 :** les minéraux argileux 47-64 dans la pédologie .2- constituants et propriétés des sols et du pH., massons paris 665p
- PENG Y.H. ; YA- ZHU F. ;MAO Y.Q.; WANG S.M.; SU W.A. and TANG Z.C.,2004:** Alkali grass resists salt stress through high $[K^+]$ and an endodermis barrier to Na^+ . *Journal of Experimental Botany*, Vol. 55, (398) 939-949.
- PLANT Z. ;GRIEVE C.M. and FEDERMAN E.,1989:** Salinity effects on Photosynthesis in isolated mesophyll cells of cowpea leaves. *Plant Physiol.* (91) 493-499.
- RANI U.R. and REDDY A.R., 1994:** Salt stress responsive polypeptides in germinating seeds et young seedlings of Indica rice (*Oryza sativa* L.). *J Plant Physiol.* (143) 250-253.
- REDDY A.R.; CHAITANYA K.V. and VIVEKANANDAN M., 2004:** Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J. Plant Physiol.*, 161:1189-1202.
- REQUIER DES JARDINS M. et CARON P., 2005 :** La lutte contre la désertification : Un bien public mondial environnemental? Des éléments de réponse. CSFD/ Dossier/1.P4.
- RODRIGUEZ A.N. and RUBIO F., 2006:** High-affinity potassium and sodium transport systems in plants. *J.of Exp. Botany.* 57(5) 1149-1160.
- SANNADA Y. ; UEDA H. ;KURIBAYASHI K.; ANDOH T.; HAYASHI F. ;TAMAI N. and WADA K., 1995:** Novel light-dark change of proline levels in halophyte (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) and glycophytes (*Hordeum vulgare* L. and *Triticum aestivum* L.) leaves and roots under salt stress. *Plant Cell Physiol.*36 (6)965-70..
- SEEMANN J.R. and 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.

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.

STEUDLE E., 2000: Water uptake by roots: effect of water deficit. Journal of Experimental Botany. (51) 1531-1542.

STEWART G.R. and LEE J.A., 1974: The role of proline accumulation on halophytes. Planta. (120) 279-289.

SULTANA N. ; IKEDA T. and ITOH R., 1999: Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environ. Exp. Bot. (42) 211-220.

TREMBLIN G. et COUDRET A., 1986 : Salinité, transpiration et échanges de CO₂ chez *Halopeplis amplexicaulis* . Acta Oecologica.Vol .7(21), (4) 417-431.

UNIFA, 2005 : Union des Industries de la Fertilisation.

VERNON D.M. ; OSTREM J.A. and BOHNERT H.J., 1993: Stress perception et reponse in a facultative halophyte :The regulation of salinity-induced genes in *Mesembryanthemum crystallinum*. Plant cell Environ. (16) 437- 444.

WAISEL Y., 1972: Biology of Halophytes. New York, London: Academic Press.

WATAD A.A. ; SWARTZBERG D. ; BRESSAN R.A. ;IZHAR S. and HASEGAWA P.M.,1991: Stabilitiy of salt tolerance at cell level after regeneration of plants from a salt tolerant tobacco cell line. Physiol Plant. (83) 307-313.

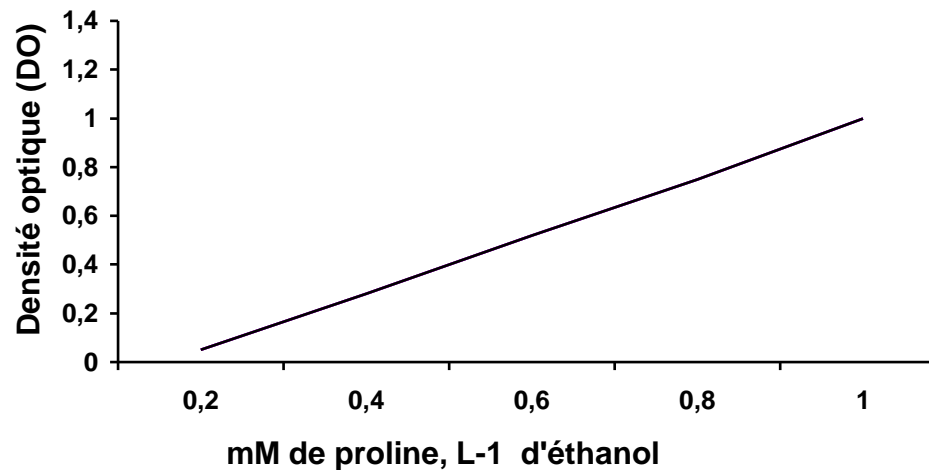
ZAMAN B. ; NIAZI B.H. ; ATHAR M. and AHMAD M., 2005: Response of wheat plants to Na⁺and Ca⁺⁺ on interaction under saline environment.Int..J.of Environ.Sci.and Techno., 2,1, Spring, 7-12.

Annexes

Etude statistique traitant le dosage de la proline

	50 (n=3)		100 (n=3)		200 (n=3)		F1 (n=12) concentration			F2 (n=18) Bentonite		Analyse variance			
	Sans Bentonite	Avec Bentonite	Sans Bentonite	Avec Bentonite	Sans Bentonite	Avec Bentonite	50	100	200	Sans Bentonite	Avec Bentonite	F1	F2	F3	<u>Interaction</u> <u>F1xF2xF3</u>
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	0,50 ± 0,22	0,34 ± 0,21	0,61 ± 0,32	0,60 ± 0,61	0,64 ± 0,40	0,52 ± 0,29	0,34 ± 0,18	0,38 ± 0,30	0,40 ± 0,22	0,42	0,32	NS	NS	**	<u>Interaction</u> <u>F1xF2xF3</u> NS

Courbe d'étalonnage de la proline



Echantillon	Les anions					Les cations				
	Chlorures	Carbonates	Bicarbonates	sulfate	BaSO ₄	Na ⁺ meq/l	K ⁺ meq/l	Mg ⁺ meq/l	Ca ⁺⁺ meq/l	
Sol de Abdel Malek Randane	T	1	-	1	21,4	0,05	1,27	0,21	0,83	2,94
	50*	1,1	-	1	12,84	0,03	1,73	0,10	0,42	2,05
	100*	6,2	-	1	8,56	0,02	4,82	0,15	0,59	3,00
	200*	7,5	-	1	12,84	0,03	8,26	0,20	0,69	0,44
	50**	1,2	-	1	8,56	0,02	1,43	0,16	0,62	1,65
	100**	1,5	-	1	12,84	0,03	4,04	0,18	0,70	2,25
	200**	2	-	1	12,84	0,03	6,73	0,17	0,73	2,53
Sol de sidi Lakhdar	T	3	-	1	0	0	1,42	0,18	0,53	1,92
	50*	4	-	1,5	12,84	0,03	4,39	0,16	0,43	1,26
	100*	3,5	-	1,5	4,28	0,01	2,56	0,13	0,74	2,01
	200*	4	-	1,5	4,28	0,01	4,91	0,11	0,65	1,95
	50**	6,5	-	1	4,28	0,01	6,39	0,13	0,75	0,68
	100**	2	-	1	8,56	0,02	7,08	0,10	0,71	2,65
	200**	3	-	1	4,28	0,01	8,56	0,11	0,79	3,25
Sol de Achaacha	T	1	-	1	4,28	0,01	0,87	0,12	0,33	1,37
	50*	0,5	-	1,5	8,56	0,02	8,08	0,14	0,65	3,82
	100*	3	-	1	8,56	0,02	3,41	0,11	0,49	1,04
	200*	11	-	1	8,56	0,02	8,26	0,11	0,50	4,52
	50**	1,10	-	1,5	8,56	0,02	3,86	0,12	0,58	1,87
	100**	2	-	1	8,56	0,02	7,13	0,20	0,84	0,47
	200**	4	-	1	12,84	0,03	9,56	0,23	0,95	6,50

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.),

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 بالأملاح المغذية والملحية، لديها نسبة عالية من الكبريتات في تركيز 50 meq.l^{-1} ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$).

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* L.) في وضعها في نظام غذائي وتركيز ملحية 100 - 50 - $200 \text{ meq (NaCl+CaCl}_2\text{) l}^{-1}$ 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 التغيرات فغي محتوى البرولين إلى نسب متفاوتة وفقا لأنواع التربة والمنطقة المدروسة.

وتشير البيانات إلى أن تعريض الشتلات (*Phaseolus* 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 الاكتئاب بسبب التغيرات 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.)