

**ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE AGRONOMIQUE EL-HARRACH -ALGER**  
En vue de l'obtention du Diplôme de Magister en Sciences Agronomiques  
Option : Pédologie

***Effet du stress salin sur la croissance et la physiologie de la féverole (Vicia faba L.).***

**Présenté par Mme HAMDOUN Nacera.**

Directeur Mr OUNANE S.M. Professeur  
Année universitaire 2011-2012

Devant le jury d'examen : Président Mr AIDAOUI A. Professeur Examineurs Mr BOUDJENIBA M.  
Professeur Mr DRIDI B. Maître de conférences



# Table des matières

REMERCIEMENTS . .	4
Résumé . .	5
Abstract . .	6
ص خ لم . .	7
LISTE DES ABREVIATIONS . .	8
INTRODUCTION . .	9
Synthèse bibliographique . .	10
Chapitre I : Synthèse bibliographique . .	10
I.1. La salinité dans le monde et en Algérie . .	10
I.2. Effet du stress salin sur la plante . .	12
I.3. Effet du stress salin sur la nutrition azotée chez les légumineuses . .	14
I.4. Tolérance et adaptation des plantes à la salinité . .	18
Matériels et Méthodes . .	23
Chapitre II : Matériels et Méthodes . .	23
II.1. Matériel végétal est conditions de l'essai . .	23
II.2. Dispositif expérimental . .	24
II.3. Conduite de l'essai . .	25
II.4. Paramètres étudiés . .	26
II.5. Etude statistique . .	29
Résultats et Discussion . .	30
Chapitre III : Résultats et Discussion . .	30
III.1. Effet du stress salin (NaCl) sur l'activité réductrice d'acétylène l'ARA . .	30
III.2. Effet du stress salin (NaCl) sur l'Activité nitrate réductase (ANR) . .	31
III.3. Effet du stress salin (NaCl) sur l'accumulation de la proline . .	32
III.4. Effet du stress salin (NaCl) sur la hauteur des plants . .	34
III.5. Effet du stress salin sur la longueur des racines. . .	35
III.6. Effet du stress salin (NaCl) sur le poids frais des parties aériennes . .	37
III.7. Effet du stress salin (NaCl) sur la matière sèche aérienne . .	39
III.8. Effet du stress salin (NaCl) sur le poids frais des racines . .	40
III.9. Effet du stress salin (NaCl) sur le poids sec des racines . .	40
III.10. Effet du stress salin (NaCl) sur le nombre de nodosité . .	42
III.11. Effet du stress salin sur matière sèche des nodules . .	43
III.12. Discussion générale . .	46
Conclusion . .	48
Références bibliographiques . .	50

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je suis très heureuse de pouvoir exprimer mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord je tiens à adresser mes sincères remerciements au **P<sup>r</sup> Ounane** d'avoir pris la responsabilité de diriger ce travail. Ses conseils, ses orientations et ses critiques m'ont été très bénéfiques tout au long de cette étude.

Mes remerciements les plus profonds s'adressent au **P<sup>r</sup> .Aidaoui** qui m'a fait l'honneur de présider le jury de cette soutenance.

J'adresse également mes remerciements au **P<sup>r</sup> .Boudjenibaet** au **D<sup>r</sup> Dridi** pour avoir accepté très aimablement de faire partie de ce jury et d'examiner ce travail

A ma famille qui m'a encouragée, aidée et soutenue tout au long de mon parcours universitaire, je leur dédie ce travail.

## Résumé

Effet du stress salin sur la croissance et la physiologie de la féverole (*Vicia faba L.*).

Ce travail a consisté à étudier l'influence d'une contrainte saline représentée par différentes concentrations de NaCl (0, 50, 100 et 150mM) chez la féverole (*Vicia faba L.*) et ce sur certains aspects physiologiques : les deux voies de la nutrition azotée (l'assimilation et la fixation) et l'accumulation de la proline.

L'estimation de la croissance (hauteur de la partie aérienne et longueur des racines, ainsi que la production des biomasses totales des matières fraîches et sèches de la partie aérienne et racinaire) a décelée des différences significatives pour les différentes concentrations du sel.

Les résultats obtenus montrent que le stress salin se traduit par une diminution de l'activité nitrogénase qui s'accompagne d'une réduction de l'organogenèse nodulaire. L'apport du sel au stade floraison, indépendamment de la dose utilisée, ne semble pas affecter l'A.N.R, elle a même tendance à augmenter l'accumulation de la proline, évolue dans la plante au cours de son développement et augmente avec la concentration saline. Le sel semble réduire les différents paramètres de croissances de la féverole.

Cette étude a permis aussi de déterminer les périodes présentant une réaction plus ou moins marquée vis-à-vis du stress : la sensibilité au stress est plus importante au stade végétatif qui semble représenter une phase très sensible du cycle de la féverole.

Mots clés : Salinité, A.R.A : activité réductrice d'acétylène, A.N.R : activité nitrate réductase, proline, nodulation, symbiose, féverole.

## Abstract

Effect of salt stress on physiology and growth of Faba bean (*Vicia faba L.*)

The aim of our work was to study the influence of salt stress of different concentrations of NaCl (0, 50, 100 et 150mM) in Faba bean (*Vicia faba L.*) and that on some important physiological aspects: the two paths of nitrogen nutrition (assimilation, fixation) and the proline accumulation.

The growth estimation (height of aerial part, root length and total biomass production of fresh and dry aerial and root part) has detected significant differences for the different concentration of salt.

The results show that salt stress lead in a decrease of nitrogenase activity which is accompanied by a reduction in nodule organogenesis. The addition of salt at the flowering stage, regardless of the dose used, doesn't seem to affect the N.R.A, it has increase the proline accumulation, evolve in the plant during its development and increase with salt concentration. The salt appears to reduce different growth parameters of Faba bean.

This study also determined the periods with more or less important reaction against the stress salt: the stress sensitivity is higher at the vegetative stage that seems to be a very sensitive phase of the Faba bean cycle.

Key words: salinity, A.R.A: Acetylene reducing activity, N.R.A: Nitrate reductase activity, Proline, nodulation, symbiosis, Faba bean.

## ص خ لم

**(Vicia faba L.) تأثير الإجهاد الملحي على فزيولوجية و نمو الفول**

الهدف من هذه الدراسة هو إظهار مدى تأثير الملوحة المطبقة باضاف تراكيز متزايدة  
 NaCl (0,50,100,150 مل مول) على نبات الفول ، من دراسة بعض الخصائص الفزيولوجية  
 وعوامل النمو .

تظهر نتائج الفحص المتحصل عليها التأثير السلبي للملح على التثبيت الحيوي للأزوت  
 الجوي عن طريق العقد الجذرية التي تناقصت هي أيضا لم يؤثر إدراج الملح سلبا على إرجاع  
 النترات في طور إزهار النبتة، كما أدى الإجهاد الملحي إلى تراكم البرولين وتناقص تركيز الملوحة  
 و عمر النبتة.

أظهرت النتائج نقص في نمو النبتة ( طول الجزء الهوائي والجذري وإنتاج المادة الرطبة  
 والجافة للجزء الهوائي والجزء الجذري). كما أظهرت الدراسة الحسابية الكبيرة لنبات الفول في  
 الطور الأول من النمو .

**كلمات مفاتيح: الملوحة -العقد الجذرية-التعايش - البرولين-الفول-ARA - ARN**

## LISTE DES ABREVIATIONS

- INRA Institut National de la Recherche Agronomique
- I. T. G. C. Institut Technique des Grandes Cultures
- TPot irrigué avec de l'eau normale (témoin)
- C1pot irrigué avec 50 mM de NaCl
- C2pot irrigué avec 100 mM de NaCl
- C3pot irrigué avec 150 mM de NaCl
- A.R.A. Activité Réductrice Acétylène
- ANR. Activité Nitrate Réductase
- CE. Conductivité électrique
- Nm. Nanomètre
- Ppm. partie par million
- DO. Densité Optique
- PPAS. Plus Petites Amplitudes Significatives

---

# INTRODUCTION

La salinité du sol est l'une des principales contraintes environnementales qui limite la production végétale dans les régions arides. Elle est souvent associée à la sécheresse et elle entraîne une réduction des surfaces cultivables (Marcum, 2006) et menace l'équilibre alimentaire mondial (Kinet et *al.*, 1999). La FAO (2005) estime que 7 % des terres agricoles dans le monde (920 millions d'hectares) sont affectées par les sels solubles. Cette situation est aggravée par une évaporation estivale intense qui favorise la remontée des sels en surface, notamment dans les régions arides et semi-arides (Lapeyronie, 1982). Ce problème est aussi très répandu dans les zones cultivées puisque toutes les eaux d'irrigations contiennent des sels dissous pouvant se concentrer dans le sol (Wilson et *al.*, 2000). En effet, la présence de sel solubles dans un sol à un certain niveau de concentration affecte les mécanismes physiologiques de la plante et limite la production végétale (Maggio et *al.*, 2004).

L'utilisation des plantes tolérantes au sel constitue un substitut efficace ou plus commode que les interventions techniques de drainage et lessivage, coûteux et difficile à maîtriser (Abdelly, 2005). Ainsi une meilleure connaissance de la physiologie et de la génétique de la tolérance des plantes à la salinité, reste une condition primordiale pour la réalisation des programmes de sélection d'espèces et de variétés tolérantes au stress salin (Shay, 1990). Ces programmes sont plus difficiles à mettre en œuvre parce que les légumineuses vivent en symbiose avec des bactéries fixatrices d'azote. D'ailleurs, plusieurs travaux soulignent l'intérêt de la sélection simultanée des deux partenaires de l'association pour une meilleure fixation symbiotique (Rai et *al.*, 1985 ; Bekki et *al.*, 1987 ; Graig et *al.*, 1991). En effet, les deux partenaires ne réagissent pas de la même façon au stress salin.

La tolérance des végétaux aux sels est un phénomène complexe qui implique des particularités morphologiques et développementales avec des mécanismes physiologiques et biochimiques variés. La salinité et la sécheresse ont des effets délétères sur la croissance et la survie des populations rhizobiennes dans le sol (Singleton et *al.*, 1984), sur le développement et le fonctionnement des nodosités et, donc, sur la capacité fixatrice de l'association symbiotique.

La survie et la croissance des légumineuses en condition de contrainte hydrique ou saline sont liées à des processus adaptatifs liés au transport et à la compartimentation des ions, à la biosynthèse et l'accumulation d'osmolytes organiques qui participent à l'ajustement osmotique et à des remaniements protéiques nécessaires au maintien de l'intégrité cellulaire.

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence l'influence d'une contrainte saline représentée par différentes concentrations de NaCl (0, 50, 100 et 150mM), chez la féverole (*Vicia faba L.*) et ce sur certains aspects physiologiques : les deux voies de la nutrition azotée (l'assimilation et la fixation) et l'accumulation de la proline.

L'estimation de la croissance (hauteur de la partie aérienne et longueur des racines, ainsi que la production des biomasses totales des matières fraîches et sèches de la partie aérienne et racinaire) a décelé des différences significatives pour les différentes concentrations du sel.

# Synthèse bibliographique

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

### I.1. La salinité dans le monde et en Algérie

---

#### I.1.1. Données générales

La salinité se rencontre en de nombreuses zones arides et semi arides du bassin méditerranéen (Drevon et *al.*, 2001). En Algérie, les facteurs qui contribuent à l'extension du phénomène de salinisation des terres sont liés à l'aridité du climat qui porte sur plus de 95% du territoire, la qualité médiocre des eaux d'irrigation, le système de drainage souvent inexistant ou non fonctionnel, et la conduite empirique des irrigations (Daoud et Halitim, 1994 ; Saidj, 2004).

Le fort ensoleillement et la faible pluviométrie font accumuler les sels dissous, en surface. Ces accumulations transforment profondément les propriétés physiques et chimiques du sol (Lambers, 2003), avec pour conséquence principale, un milieu qui devient « non productif » voir « stérile ». Le sol est alors colonisé, d'une manière plus au moins dense, par des peuplements de plantes halophytes (Masters et *al.*, 2007).

#### I.1.2. Salinité des sols

La F.A.O. (2005) estime que 7 % des terres agricoles dans le monde (920 millions d'hectares) sont affectées par les sels solubles, et plus de 27% des terres irriguées sont confrontées au problème de la salinité (Levigneron et *al.*, 1995 ; Wilson et *al.*, 2000).

Tableau 1 : Extension globale de la salinisation secondaire dans le monde. Superficie en million d'hectares (Ghassemi et *al.*, 1995).

Continent	Salinité légère	Salinité modérée	Salinité forte	Salinité extrême	Total
Afrique	4.7	7.7	2.4	-	14.8
Asie	26.8	8.5	17.0	0.4	52.7
Amérique	2.1	1.8	0.5	0	4.4
Europe	1.0	2.3	0.5	0	3.8
Australie	-	0.5	-	0.4	0.9
Total	34.6	20.8	20.4	0.8	76.6

Ce tableau montre que, globalement, plus de 76 Millions d'hectares de terres sont affectées par la salinisation secondaire dans le monde, dont 52,7 Millions d'hectares (69%) en Asie, 14.8 millions d'hectares (19%) en Afrique et 3.8 millions d'hectares (5%) en Europe.

L'Algérie compte plus d'un million d'hectares de terres salées localisées essentiellement le long de la frontière Algéro-Marocaine sous la forme de pseudo-sables disposés à la surface du sol. Ces sols salés sont également très fréquents dans les basses

plaines de l'Oranie, la plaine de la mina (Relizane), le sud de Sétif et de Constantine et dans les régions sahariennes (FAO, 1974).

Selon Drouhin (1961) la salure des sols Algériens est la plus souvent d'origine sédimentaire où deux types de salure peuvent être reconnus :

- La salure de la région tellienne (plaines sub-littorales) et des hautes plaines steppiques où l'élément toxique est constitué essentiellement par le chlorure de sodium (NaCl) où le chlorure de magnésium (MgCl<sub>2</sub>) ou l'association de ces deux composés. Ils constituent « Le Salant Blanc ».
- La salure des vallées et des dépressions sahariennes où le climat est chaud, favorisent l'apparition du carbonate de soude « Salant noir » dont la toxicité est redoutable.

### I.1.3. Salinité des eaux

L'eau d'irrigation peut saliniser les sols si elle a une teneur excessive en ions solubles, ou si elle est mal appliquée (Herrero, 1992), le contrôle permanent des risques de l'irrigation régulière des sols en zones arides et semi-arides est indispensable en agriculture (Meddahi et al., 1993).

Daoud et Halitim (1994) notent qu'en Algérie la salinisation secondaire à la suite de l'irrigation avec des eaux diversement minéralisées a entraîné une extension de la salure dans de nombreux périmètres irrigués.

La gestion rationnelle des eaux doit nécessairement prendre en compte la trilogie : irrigation–salinité –drainage, car ces facteurs ont un effet direct sur les propriétés physico-chimiques des sols aboutissant à des conditions défavorables pour la croissance des cultures (Badraoui et al., 1998 ; Salim et Tessier, 1998).

Les normes d'évaluation (**Tableau 2**) de la qualité des eaux d'irrigation diffèrent d'un pays à un autre (Daoud et Halitim, 1994).

**Tableau 2 : Normes d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation**

Conductivité électrique (ds/m)	Concentration (g/l)	Evaluation Américaine	Evaluation Russe	Evaluation de Durand pour l'Algérie
CE<025	<0.2	Faiblement salée	Bonne qualité	Non salin
0.25<CE<0.75	0.2-0.5	Moyennement salée	-	Salinité moyenne
0.75<CE<2.25	0.5-1.5	Fortement salée	Risque de salinisation	-
2.25<CE<5	1.5-3	Très fortement salée	-	Très forte salinité
5<CE<20	3-7	Salinité excessive	Ne peut être utilisée sans lessivage	Salinité excessive

### I.1.4. Les problèmes liés à la salinité des sols et des eaux

Chaque année, 10 millions d'hectares de terres cultivées dans le monde sont abandonnés en raison de l'accumulation de sels par l'irrigation (Szabolcs, 1994). D'une manière générale, l'action du chlorure de sodium sur les plantes supérieures s'accompagne de

modifications aussi bien morphologiques que structurales et métaboliques (Ellouze et *al.*, 1980). Ces effets entraînent une perturbation du fonctionnement de la plante et se traduisent toujours par une diminution de la production.

La salinité du sol peut agir sur la croissance de la plante indirectement par plusieurs facteurs dont le plus important, est la mauvaise rétention de l'eau par le sol, entraînant donc une réduction de la disponibilité en eau et imposant des conditions de stress osmotique aux végétaux. En dehors de cet effet, la prédominance de certains ions comme  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , peut être toxique.

Enfin, l'augmentation du pH observée dans ces sols, est susceptible d'induire des carences en certains éléments chimiques.

La saturation de la fraction argileuse en sodium provoque la dispersion des fines particules, par conséquent, la destruction de la structure du sol (Ghassemi et *al.*, 1995) et la restriction de l'eau dans le profil (Tabet et *al.*, 1998 ; Salim et Tessier, 1998). De plus, la combinaison du taux de sodium échangeable (ESP) avec la concentration saline affecte la conductivité hydraulique (Daoud et Rwanika, 1991). L'effet de l'ESP serait lié au gonflement des particules qui provoquerait un affaiblissement des liaisons entre ces particules ce qui engendrerait leur dispersion et ainsi leur migration.

Enfin, en présence des sels de sodium, une grande partie de la microflore tellurique disparaît (par manque ou d'insuffisance d'oxygène, ou alors par insuffisance ou excès d'humidité). L'activité biologique de certains germes devient moins intense, par manque ou insuffisance de substrat, et le cycle de certains éléments devient incomplet.

Les sols sodiques alcalins exercent sur les plantes des contraintes de types toxicité sodique accompagnée généralement d'une aération déficiente. Les sols sulfatés acides et salés offrent la particularité chimique d'une acidité exprimée ou potentielle (Valles et *al.*, 1988).

## I.2. Effet du stress salin sur la plante

---

### I.2.1 Effet osmotique

La présence d'une forte concentration de sels solubles dans le sol crée une pression osmotique élevée dans l'environnement racinaire qui réduit la disponibilité de l'eau du sol pour la plante; c'est ce qu'on appelle une sécheresse physiologique (Maricle et *al.*, 2007). Ce type de sécheresse ne touche que les plantes qui n'ajustent pas leurs concentrations (Khoury, 1969), ou celles qui les ajustent insuffisamment (Bernstein et Hayward, 1958 ; Galeet *al.*, 1967).

Lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules, ce qui provoque la perte de la turgescence (Redondo-Gomez et *al.*, 2006). Le sel entre en compétition avec les systèmes de transport des nutriments indispensables, et soumet les plantes à un déséquilibre osmotique qui peut aboutir à un déficit hydrique (Niu et *al.*, 1995).

Selon Munns et Termaat (1986), l'effet osmotique entraîne pour les plantes un accroissement de dépense d'énergie pour tirer l'eau du sol.

Levitt (1972) note que les halophytes, grâce à la présence de solutés organiques dans leurs cellules, modulent leur pression osmotique intracellulaire en fonction de la pression

osmotique du milieu. Le même auteur a précisé que l'effet osmotique du sel est le principal facteur limitant de la croissance dans le cas des glycophytes. Cependant, certains auteurs signalent que les glycophytes sont capables aussi de maintenir, dans une certaine mesure, leur hypertonie et leur turgescence en milieu salé, grâce à l'accumulation des ions puisés dans le milieu et aux changements de la concentration interne de certaines substances organiques (Bernstein, 1963 ; Slatyer, 1961). Selon Tuna et *al.* (2007) le calcium contribue dans l'ajustement osmotique en modifiant le rapport  $K^+/Na^+$  intracellulaire (Greive et *al.*, 2004).

### **I.2.2. Effets physiologiques**

La présence de chlorure de sodium dans le sol a généralement pour effet de réduire l'intensité de la transpiration des plantes (Gale, 1972).

Le sel diminue la transpiration des glycophytes et de nombreux halophytes (Gale et *al.*, 1972), en l'absence de toute diminution de turgescence. Le facteur principal de la diminution de la transpiration est l'augmentation de la résistance stomatique, dont on a montré récemment la dépendance vis à vis des teneurs foliaires en ABA (acide abscissique). Celles-ci augmentent au cours du traitement par le sel.

Cependant d'après Rains (1972), Schwartz et Gale (1981) la plante augmente sa respiration en conditions de stress salin ; l'accroissement de la respiration résulte de l'énergie nécessaire à l'absorption ionique produisant ainsi un effet néfaste sur la balance d'énergie disponible pour la plante.

Les plantes qui ajustent leur concentration en présence de sel, parviennent facilement à extraire l'eau des milieux salés, en réduisant leur transpiration, elles parviennent à maintenir leur turgescence. Chez les plantes incapables de réaliser un ajustement osmotique complet, probablement en raison d'une absorption insuffisante de sel, la turgescence s'effondre malgré la diminution de la transpiration (Gale et *al.*, 1972).

La photosynthèse est réduite chez les plantes cultivées en milieu salin, en conditions de stress salin Terry et Waldrow (1984) ont observé que l'ouverture des stomates ne devient complète qu'une demi-heure après envoi de la lumière (Dergaoui, 1999).

Le NaCl diminue la synthèse des protéines et augmente leur hydrolyse chez quelques plantes cultivées, par exemple dans les racines du pois (Klyshev et Rakova, 1964), dans les feuilles de vignes (Saaky et Petrosya, 1964) et chez le haricot (Nieman, 1965 ; Huber et *al.*, 1977).

### **I.2.3. Effets sur l'alimentation minérale**

L'entrée du sel dans la plante provoque généralement un déséquilibre ionique, qui se traduit suivant les espèces par des carences ou excès en certains éléments. Selon la composition ionique de la solution saline, la toxicité ionique ou les déficiences nutritionnelles peuvent survenir à cause de la prédominance d'un ion spécifique ou à cause des effets compétitifs entre cations et anions (Bernstein et *al.*, 1974).

Le sodium entre en compétition avec le potassium et le calcium ; le chlore et les sulfates entrent en compétition avec les nitrates et les phosphates (Jin et *al.*, 2007). En milieu salin, les fortes concentrations en  $Na^+$  entraînent une forte compétition pour les sites électronégatifs avec l'ion  $K^+$  les ions  $Na^+$  perturbent l'absorption des cations ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ) alors que l'accumulation excessive du chlore diminue l'absorption des anions

indispensables à la croissance et au développement des végétaux en particulier les nitrates, les nitrites, les sulfates (Ballesteros *et al.*, 1997 ; Botella *et al.*, 1997 ; Davenport *et al.*, 1997).

En général, l'antagonisme  $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$  est nettement plus marqué chez les glycophytes que chez les halophytes, qui paraissent dotées d'un système d'absorption efficace leur permettant d'assurer une alimentation correcte en  $\text{NO}_3^-$  même quand les concentrations de  $\text{Cl}^-$  dépassent plus de 100 fois celles de  $\text{NO}_3^-$  (Osmond *et al.*, 1980).

L'excès de sodium et de chlorure augmente la perméabilité membranaire, ce qui accélère la diffusion des électrolytes dans le milieu extérieur et réduit la sélectivité membranaire (Meychik *et al.*, 2005). Par ailleurs, Kelley (1963) signale que la nocivité d'une eau d'irrigation salée est souvent liée au fait que cette eau appauvrit le sol en calcium assimilable. Ainsi l'addition de  $\text{Ca}^{2+}$  à l'environnement racinaire a été suggérée comme moyen d'augmentation de la tolérance au stress salin (Tuna *et al.*, 2007).

En effet, cet élément rentre dans l'intégrité structurale et fonctionnelle de la membrane cytoplasmique, et sa présence peut régler l'absorption des ions en faveur du potassium (Arshi *et al.*, 2006), alors que celle du sodium est inhibée (Shabala *et al.*, 2005).

Dreir (1978) a mentionné l'influence du  $\text{Ca}^{2+}$  sur l'absorption des cations et sur la protection de la plante dans un milieu riche en NaCl. Il a signalé que l'addition de  $\text{Ca}^{2+}$  à 5 mM dans un milieu contenant 150mM de NaCl, entraîne une croissance presque normale et comparable à celle du témoin pour l'orge, alors que sans  $\text{Ca}^{2+}$ , la croissance diminue d'une façon importante. Volkmar *et al.* (1998) renforce cette idée informant le rôle important de  $\text{Ca}^{2+}$  dans le maintien de la régulation ionique.

### **I.2.4. Conséquences des effets du sel, sur la croissance et la productivité des plantes**

Le stress salin est évoqué à partir du moment où le contenu en sels solubles du sol provoque une diminution de la productivité végétative (Allakhverdiev *et al.*, 2000).

Le sel réduit la disponibilité de certains nutriments indispensables pour la croissance, le développement et même la survie des plantes (Lachaal *et al.*, 1995). Les effets de la salinité se manifestent généralement par une diminution de la croissance des plantes et parfois par un arrêt total avec de grandes différences de taille ; ce qui se traduit souvent par une baisse de rendement.

Torres et Bingham (1973) suggèrent que la déficience du nitrate par le chlorure, comme résultat d'antagonisme entre ions, retarde la croissance des plantes exposées à des doses élevées de NaCl. L'inhibition de la croissance peut être aussi associée à l'accumulation de  $\text{Na}^+$  dans les tissus et à la chute concomitante de la teneur en  $\text{K}^+$  (Larher *et al.*, 1987).

Pour certaines espèces cultivées, l'effet du sel est néfaste à un stade déterminé. A cet effet, Maas *et al.* (1986) signalent pour le sorgho, une sensibilité plus accentuée après la floraison. Par ailleurs, il est intéressant de signaler que chez *Vicia faba*, la salinité affecte plus la croissance de la partie aérienne que celle de la racine (Lluch *et al.*, 1994).

## **I.3. Effet du stress salin sur la nutrition azotée chez les légumineuses**

---

### I.3.1. Importance économique de la fève

La fève et la féverole constituent la plus importante culture parmi les légumineuses à grosse graine tant au niveau de la superficie que de la production (Maatougui, 1996).

Il y a lieu de préciser que les statistiques officielles ne séparent pas fèves et féveroles c'est surtout la fève qui est pratiquée

**Tableau 3 : Evolution des superficies, productions et rendements des fèves durant la période (2005/2010).**

Années	Superficie (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
2005	35047	268580	7.7
2006	33537	242986	7.2
2007	31253	279735	9.0
2008	30688	235210	7.7
2009	32278	364949	11.3
2010	34210	360252	10.7
Moyenne (2005-10)	32835.5	291952	8.93

**Source :** Statistiques Agricoles série B. 2005 à 2010.

L'utilisation de la féverole est différente selon que l'on s'adresse à des pays en voies de développement ou développés (Leguen et al., 1989). Dans le premier cas, l'utilisation de la culture est essentiellement orientée vers la consommation humaine, alors que dans les pays développés elle sert à compléter les rations céréalières des poly gastriques (engraissement des agneaux et aussi du taurillon) mais surtout des monogastriques (volailles et lapins).

Sur le plan agronomique, la féverole joue un rôle significatif dans l'amélioration de la fertilité du sol grâce à sa capacité de fixer l'azote atmosphérique. Elle était utilisée comme engrais vert dans les vergers (Maatougui, 1987).

La marginalisation des légumineuses alimentaires en générale et de la fève en particulier dans les programmes de développement a entraîné la négligence de la recherche sur cette culture. Un regain de cette culture a vu le jour par la volonté de chercheurs maghrébins groupés en réseau (Remafeve) et soutenu par la coopération allemande pour cerner les nombreux problèmes qui entravent la culture des fèves (Maatougui, 1996).

### I.3.2. Effet du stress salin sur l'assimilation des nitrates

Dans le sol, le sel affecte la nitrification (Mengel et Kikby, 1982). L'assimilation des nitrates par la plante nécessite l'intervention d'une enzyme inductible par son substrat : le nitrate réductase. Cette enzyme est active dans les feuilles mais aussi dans les racines.

Selon Aryan et al. (1983) le nitrate réductase peut subir une inactivation sous des conditions défavorables (Salinité). Le stress osmotique augmente la dégradation des protéines et altère la synthèse protéique (Larson et al., 1989).

L'utilisation des nitrates dans les feuilles est gouvernée par la fixation de hauts niveaux de carbone dioxyde (Aslam et al., 1979). Donc, le taux de la photosynthèse exerce un contrôle à long terme sur l'utilisation du nitrate et le flux de nitrate.

Enfaite, Larson et al. (1989) rapportent que l'ANR durant un stress osmotique modéré correspond à des niveaux par lesquels le nitrate est utilisé et transporté tandis que l'ANR décline plus rapidement sous un stress sévère. Autrement dit, les variations de l'ANR sont

dues avant tout aux variations du contenu en polyribosomes ; lors d'une contrainte, le nitrate réductase est affecté directement au niveau de la synthèse. L'activité moindre du métabolisme azoté, n'affecte pas la synthèse des acides aminés, mais leur assemblage en chaînes polypeptidique, ce qui conduit à une accumulation d'acide aminé libres, essentiellement la proline qui est un agent osmotique régulant les pertes d'eau cellulaire par transpiration (Larson et *al.*, 1989)

### **1.3.3. Effet du stress salin sur la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique**

#### **1.3.3.1. Effet du stress salin sur le rhizobium à l'état libre**

Les rhizobiums sont des eubactéries, qui se présentent, à l'état libre dans le sol, sous forme de bâtonnets gram-négatif aérobies stricts, chimiotrophes et hétérotrophes (Vincent, 1981).

A l'état libre dans le sol, les rhizobiums sont difficilement identifiables, seule la propriété d'induire la formation de nodules sur le système racinaire des légumineuses permet de les reconnaître avec certitude (Balandreau et dommergues 1971 ; Vincent, 1981).

Ils ne participent à aucune fonction spécifique dans l'équilibre et la vie microbienne du sol ou de la rhizosphère et leur activité ne se reflète que par l'intermédiaire des potentialités symbiotiques qu'ils possèdent (Balandreau, 1980).

La salinité réduit la survivance et la multiplication du rhizobia dans le sol et la rhizosphère (Alexander, 1984). Les limites de tolérance des souches de rhizobium varient considérablement de 50 à 400mM de NaCl (Wilson et Norris, 1970 ; Rai, 1983). *R. meliloti* est particulièrement résistant (Subba Rao et *al.*, 1972 ; Le Redulier et *al.*, 1983 ; Sauvage et *al.*, 1983) généralement cette gamme de concentration est plus étendue que celle des plante hôtes. D'ailleurs, plusieurs travaux soulignent l'intérêt de la sélection simultanée des deux partenaires de l'association pour une meilleure fixation symbiotique (Rai et *al.*, 1985 ; Bekki et *al.*, 1987).

Chez des souche de rhizobium isolées d'*Acacia cyanophylla*, le sodium joue un rôle majeur dans les processus d'ajustement osmotique lorsque ces bactéries se trouvent soumises à un stress salin (Graig et *al.*, 1991).

Enfaite, l'inhibition due au NaCl chez le rhizobium passe principalement par l'inhibition de l'activité spécifique des enzymes par les ions impliqués, en plus de l'augmentation du potentiel osmotique du milieu (Elseikh et Wood, 1990).

#### **1.3.3.2. Effet du stress salin sur la symbiose**

La tolérance de la plante hôte est le facteur le plus déterminant dans l'efficacité de l'association rhizobium- légumineuse (Rai et *al.*, 1985 ; Bekki et *al.*, 1987). La plante- hôte fournit les hydrates de carbone pour la respiration des bactéroïdes (Bekki et *al.*, 1987) et les acides organiques qui en plus de leur rôle dans le transport des cations minéraux (Raven, 1977 ; Israel et Jackson 1982 ; Allen et *al.*, 1988) constituent les squelettes carbonés des acides aminés. La fourniture de ces sources carbonées est tributaire d'une bonne activité photosynthétique de la plante hôte particulièrement en conditions de stress salin.

Etant donné que les premières étapes d'infection racinaire mettent en jeu des interactions entre les deux partenaires, l'inhibition par le sel de l'infection des racines de la plante hôte par le rhizobium peut être attribuée à l'effet du sel sur l'un ou l'autre partenaire ou sur les deux.

Zahran (1990), ont montré que les lipopolysaccharides des membranes des rhizobias étaient altérés en présence de sel, or on a depuis longtemps reconnu le rôle de ces LPS dans la reconnaissance bactérie – plante hôte grâce à leur interaction avec les lectines végétales.

### **I.3.3.3. Effet du stress salin sur la nodulation**

Les premiers pas de l'initiation nodulaire sont extrêmement sensibles aux basses concentrations de NaCl à cause probablement de sensibilité aux sels des sites d'infection de la racine (Singleton et bohloul, 1984). (Wilson, 1970) a démontré chez le soja (*Glycine weightii*), que l'apport de sel inhibe l'apparition de nouvelles générations nodulaires et n'affecte pas la croissance des nodules déjà mis en place. D'autres études, montrent que les nodules apparus voient même leur taille moyenne augmentée sous l'effet du sel (Yousef et Sprent, 1983 ; Subbarao et al., 1990). La mise en place de gros nodules semblent compenser la perte de l'efficacité nodulaire (Sprent et zahran, 1988). Le sel affecte le développement des racine, le contenu azoté de la plante (Yousef et Sprent, 1983) et l'efficacité et l'effectivité symbiotique (bekki et al., 1987; Hafeez et al., 1988 ).

La nodulation des légumineuses est généralement plus sensible au stress salin (NaCl) que la croissance de la plante (Tu, 1981). Il apparaît que l'inhibition de l'infection par le sel résulte beaucoup plus d'une sensibilité de la plante hôte et particulièrement de la restriction de son alimentation calcique que d'une action directe de cette contrainte sur le microsymbiote (Sinleton et al., 1980 ; Hafeez et al., 1988)

### **I.3.3.4. Effet du stress salin sur la fixation de l'azote (ARA)**

La déficience en certains nutriments comme le phosphore et les oligo-éléments dans les zones salées, peut entraîner des perturbations de la fixation symbiotique de l'azote (dahmane et graham, 1981 ).

Chez les légumineuses, le stress salin limite significativement la capacité de la fixation d'azote (Bekki et al., 1987). Chez la féverole, la salinité du milieu diminue la fixation d'azote en affectant l'apparition de nouveaux nodules et l'efficacité de l'association symbiotique (Yousef et Sprent, 1983).

Hafeez et al., (1988) ont étudié l'influence de différentes concentrations de NaCl sur la nodulation et la fixation de l' $N_2$  chez *Vigna radiata* et ils ont observé qu'un déclin notable de l'activité réductrice d'acétylène (ARA) se produit, lorsque les niveaux de la salinité augmentent.

Ces résultats correspondent à ceux trouvés chez d'autre espèces ; *Glycines*, *Macroptilium*, *Neorotonia*, *Vicia* et *Phaseolus* (Abdel-Ghaffar et al., 1982 ; Bernestein ,1963; Wilson 1970), et chez *Cicer arietinum* (Elsheikh et Wood, 1990) et *Arachis hypogea*(Leidi et al., 1992).

De plus, (Delgado et al., 1994) ont étudié l'effet du NaCl à différentes concentrations sur la fixation de l'azote chez les légumineuses : le pois, la féverole, le haricot et le soja, et ils ont noté une réduction significative de l'ARA qui s'accroît avec l'augmentation de la concentration saline.

Cependant, pour ces quatre légumineuses étudiées, ces auteurs révèlent que la fixation d' $N_2$  est plus sensible à la salinité que le développement de la plante. Ces résultats sont similaires avec les observations de Elsheikh et Wood (1999), Youcef et Sprint (1983) et (Lauter et al., 1981), et suggèrent que les processus de la nodulation et la fixation de l'azote, sont plus sensibles, que la croissance de la plante hôte à la salinité.

L'inhibition de l'ARA sous un stress salin est reliée à la baisse de la respiration nodulaire (Saadallah et *al.*, 2001). Cette relation entre ARA et respiration nodulaire suggère que la capacité de l'absorption de l'oxygène est le mécanisme principal, conduisant à la diminution de la fixation d' $N_2$ , du moins sous un stress sévère. Donc, la baisse de la conductance nodulaire à la diffusion de l' $O_2$  induite par la salinité est largement responsable de l'inhibition de l'activité nitrogénase par le NaCl (Serraj et *al.*, 1994)

## I.4. Tolérance et adaptation des plantes à la salinité

---

### I.4.1. Tolérance des plantes à la contrainte saline

La tolérance des végétaux à la salinité correspond à leur aptitude à vivre en présence de sels solubles sans que leur croissance et leur développement ne soient perturbés (Rathinasabapathi, 2000). La tolérance à la salinité selon Bernstein (1963), est le degré avec lequel la plante ajuste sa pression osmotique en sacrifiant un minimum de son développement végétatif, ceci implique une accumulation d'éléments nécessaires pour maintenir la pression de turgescence. Levitt (1972) définit la tolérance à la salinité comme une accumulation des ions en absence d'effets négatifs sur la croissance. Selon Hamdy (2002) la tolérance des plantes à la salinité est définie comme étant la capacité des cultures à résister aux effets excessifs des sels au niveau de la rhizosphère.

La tolérance des plantes à la salinité varie en fonction des espèces. Parmi les végétaux, les légumineuses sont les plus sensibles (Greub et *al.*, 1985). Parmi les légumineuses, les Médicago sont les plus tolérantes à la salinité (Eaglesham et Ayanaba, 1984). Cependant, la réponse des espèces végétales à la présence de sels solubles dépend de l'espèce elle-même, de sa variété, de la concentration et de la nature des sels, des conditions de culture, et du stade de développement de la plante (Djanaguiraman et *al.*, 2006).

D'autres conditions qui modifient la tolérance au stress salin sont déterminées par l'azote combiné du sol. Les plantes dépendantes du  $KNO_3$  sont moins sensibles au stress salin (Lauter et *al.*, 1981; Tu 1981; Singleton et Bohlool, 1984).

Une plante cultivée sur un sol riche en sels solubles doit faire face à la pénétration excessive de certains ions dans ses tissus qui peuvent être rejetés ou accumulés par les différents organes du végétal (tissus, cellules ou compartiments cellulaires (Chen et *al.*, 2002).

Les plantes peuvent résister et s'adapter à la salinité en ayant recours à divers mécanismes

#### I.4.1.1. Exclusion

Chez les plantes, les échangeurs  $Na^+/H^+$  contrôleraient soit l'exclusion des ions sodium des cellules racinaires, soit leur séquestration dans la vacuole. Ces deux mécanismes sont probablement des déterminants majeurs de la tolérance des plantes au stress salin (Rausch et *al.*, 1996). Les racines sont dotées d'une couche interne de cellules qu'est l'endoderme, qui empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles (Galus, 2003).

D'une manière générale, les glycophytes sont des plantes exclusives, n'accumulant pas de sodium dans leurs feuilles, car elles sont incapables d'utiliser l'ion  $Na^+$  pour l'ajustement osmotique de leurs limbes (Wallace, 1963 ; Slama, 1971 ; Hamza, 1977). Binet (1982)

note une fréquente sécrétion de sel chez les plumbaginacées et chez certains genres, tels Tamarix. En effet, il est évident de joindre l'exclusion des sels par la feuille avec la tolérance saline (Volkman et al., 1998). Selon Gorham (1993), cela est spécialement vrai pour plusieurs espèces glycophytes, incluant les plantes suivantes : blé et orge (Alberco et Cramer, 1993), pois chiche (Lauter et Munns, 1987), l'haricot (Awada et al., 1995).

#### I.4.1.2. Accumulation

La plante capte le sel, qui parvient aux feuilles avec l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vacuoles. Le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux. Cette accumulation d'ions dans la vacuole permet à la fois d'ajuster son potentiel osmotique et de détoxifier le cytoplasme ou s'effectuent les processus de métabolisme cellulaire (Koyro, 2006).

Les plantes tolérantes accumulent  $\text{Na}^+$  dans leurs feuilles, mais non les plantes sensibles (Shannon, 1998). Les racines des plantes sensibles sont moins efficaces pour introduire  $\text{Na}^+$  dans le xylème et plus efficaces pour le retenir dans leurs tissus, que celles des plantes tolérantes (Slama, 1986). Selon Lessani (1969) et Slama (1974), les plantes tolérantes accumulent le sodium dans leurs feuilles, afin de l'utiliser pour l'ajustement osmotique dans leurs organes

Les halophytes utilisent les sels pour ajuster la pression osmotique de leurs cellules. Elles laissent donc monter les sels dans leurs parties aériennes pour les stocker dans les vacuoles et les isoler des constituants cellulaires vitaux (Prida et Das, 2005), une fois vacuolisés, le  $\text{Na}^+$  et le  $\text{Cl}^-$  en excès contribuent à l'ajustement osmotique sans altérer les processus métaboliques du végétal (Zhao et al., 2005).

La plupart des halophytes transportent les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  absorber au niveau des racines vers les feuilles où ils s'accumulent (cas de *Cochlearia anglica*). Ceci permet un abaissement du potentiel hydrique des organes aériens et d'aider ainsi le ravitaillement en eau de la plante (Binet, 1985).

Dauvineud et Danaeyer (1973) notent pour certaines espèces, la capacité d'absorbés massivement des éléments présents dans le sol et de les accumuler dans leur tissu. Ainsi l'espèce *Suaeda brevifolia* dans un sol gypseux et très riche en NaCl, accumule dans ses organes aériens des quantités importantes de  $\text{Na}^+$  (14 à 19 %) et  $\text{Cl}^-$  (10 à 25%). De même chez la tomate, la tolérance au sel est associée à une forte accumulation foliaire de sodium.

#### I.4.1.3. Sélectivité

La notion de sélectivité chez les végétaux est évoquée lorsqu'on constate que dans les mêmes conditions de milieu, le contenu minéral des plantes varie largement d'une espèce à une autre (Meychik et al., 2005). Tyerman et Skerrett (1999) signalent que de nombreuses espèces parmi les halophytes, comme chez certains glycophytes, sont capables de restreindre l'accumulation de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  en milieu salé par le mécanisme de sélectivité.

La salinité fait diminuer la teneur en  $\text{K}^+$  dans les feuilles et les tiges chez trois variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa*) chez la variété *Gabès*, la bonne sélectivité en faveur de  $\text{K}^+$ , lui permet de continuer sa croissance et son développement, contrairement à *Hunterfield*

(Mezni, 2001). D'après Shannon (1998), sous stress salin, la plante absorbe les nutriments et restreint l'absorption des ions toxiques à un potentiel hydrique bas.

#### **1.4.1.4. Rôle du calcium dans la résistance à la salinité**

Le calcium est un constituant de la lamelle moyenne de la membrane squelettique (pectate de calcium) ; il a un rôle antitoxique à l'égard des excès de sodium que la plante est susceptible d'absorber (Nedjimi, 2010). La résistance à la salinité apparaît associée au maintien d'un certain taux de calcium racinaire. Par ailleurs, la nocivité d'une eau d'irrigation salée est souvent liée au fait que cette eau appauvrit le sol en calcium assimilable. Ainsi l'addition de  $\text{Ca}^{2+}$  à l'environnement racinaire a été suggérée comme moyen d'augmentation de la tolérance au stress salin (Epstien, 1998). Le calcium contribue dans l'ajustement osmotique en modifiant le rapport  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  intracellulaire (Gerive et al., 2004).

En effet, cet élément rentre dans l'intégrité structurale et fonctionnelle de la membrane cytoplasmique, et sa présence peut régler l'absorption des ions en faveur du potassium (Arshi et al., 2006), alors que celle du sodium est inhibée (Shabala et al., 2005). Dreier (1978) a mentionné l'influence du  $\text{Ca}^{2+}$  sur l'absorption des cations et sur la protection de la plante dans un milieu riche en NaCl. Il a signalé que l'addition de  $\text{Ca}^{2+}$  à  $5 \cdot 10^{-3}$  M dans un milieu contenant 150 mM de NaCl, entraîne une croissance presque normale et comparable à celle du témoin pour l'orge, alors que sans  $\text{Ca}^{2+}$ , la croissance diminue d'une façon importante. Volkmar et al. (1998), renforce cette idée en disant qu'il apparaît une évidence positive du rôle important de  $\text{Ca}^{2+}$  dans le maintien de la régulation ionique.

Comparant les parois des racines d'une espèce résistante au sel, *Cochlearia anglica*, et celle d'une espèce sensible, le haricot. Bigot et al. (1982) ont constaté que les racines de l'espèce halotolérante sont deux fois plus riches en  $\text{Ca}^{2+}$  que celles du haricot. Ceci du fait que les racines de *Cochlearia anglica* présentent une plus grande affinité et une importante sélectivité pour  $\text{Ca}^{2+}$  par rapport à  $\text{Na}^+$ .

#### **1.4.2. Adaptation des plantes à la salinité.**

##### **1.4.2.1. Adaptation morphologique**

Parmi les nombreux effets de la salinité sur les végétaux il est important de distinguer tout d'abord la réponse qui précède la diminution de la croissance. Hamza (1982) signale que, sous l'effet du sel, les plantes peuvent manifester des formes adaptatives par un faible allongement des organes et de leurs ramifications, un raccourcissement des entre-nœuds des tiges et une diminution de la surface foliaire.

##### **1.4.2.2. Mécanismes biochimiques dans l'adaptation des végétaux à la salinité**

Sous l'action des divers stress (hydrique, salin ou provoquée par le froid), les plantes réagissent par une modification de leur contenu biochimique. Ces modifications se traduisent souvent par une accumulation d'un certain nombre de composés organiques.

Ainsi des substances neutres, capables de jouer un rôle osmotique dans le cytoplasme, sont produites en quantités inhabituelles en présence de sel, de sécheresse ou de froid et

peuvent s'accumuler dans les cellules ; il s'agit de sucres (Gollee, 1973) ou de composés azotés (Goas, 1965). Plusieurs études ont montré que les plantes s'adaptent au stress salin par la synthèse de solutés organiques (proline, glycine bêtaïne, sucre solubles (Pocard et al., 1991; Kumar et al., 1994; Libal-Weksler et al., 1994 )

#### **I.4.2.2.1. Accumulation des sucres**

Les sucres solubles auraient un rôle majeur dans l'ajustement osmotique, leur participation à l'abaissement du potentiel osmotique en conditions de stress salin a été mise en évidence par plusieurs auteurs (Fernandes et al., 2004 ). La synthèse des sucres est stimulée par le stress salin chez de nombreuses espèces soit par blocage de la glycolyse ou par hydrolyse de l'amidon (Rathinasabapathi, 2000).

Le glucose est le sucre majoritairement accumulé dans les feuilles des plantes soumises au stress salin (Mustard et Renault, 2004). Alors que le tréhalose est considéré comme étant le sucre le plus efficace en terme d'osmoprotection et en terme de minimum de quantité requise pour obtenir un effet positif (Garcia et al., 1997). Il protège les membranes et les protéines dans les cellules exposées au stress salin et hydrique (Noiraud et al., 2001).

Le saccharose peut agir en tant que composé soluble compatible et son accumulation peut limiter les dommages au niveau des structures cellulaires (Neuhaus, 2007). Ainsi l'accumulation de saccharose contribue au maintien d'une pression osmotique élevée limitant les pertes d'eau par transpiration (Pérez –Alfocea et Larher, 1995).

#### **I.4.2.2.2. Accumulation des composés azotés**

La vie en milieu salé se caractérise souvent par la formation et l'accumulation dans les tissus de composés azotés (Binet, 1982). C'est parmi ces composés qu'on trouve le plus de substances à molécules non toxiques, susceptibles de jouer un rôle osmotique dans le cytoplasme.

Le sel freine la protéogénèse (Strogonov, 1964) et augmente la protéolyse. Ces perturbations entraînent une accumulation d'acides aminés libres. Parmi ces acides, c'est la proline qui est accumulée en quantités très importantes chez les halophytes, comme chez les glycophytes cultivés en présence du sel (Goas, 1965) et c'est à cet acide qu'on attribue le plus souvent le rôle osmotique dans le cytoplasme. Cette hypothèse est appuyée par la corrélation étroite qui existe entre la teneur en proline et celle du chlorure de sodium et par la non toxicité aussi de cet acide.

Chez *Suaeda macrocarpa*, il y a accumulations d'un autre composé azoté : la glycoprotéine qui, selon Briens et Goas (1961) pourrait jouer un rôle dans le potentiel hydrique des tissus et dans les échanges de cations par sa richesse en groupements carboxyles. C'est la glycine bêtaïne qui s'accumule chez *Atriplex spongiosa* et *Suaeda monoica*.

La probabilité du rôle osmotique de cette substance est confirmée par Hall et al. (1978) qui ont montré sa localisation cytoplasmique, au moins dans les feuilles de *Suaeda maritime*. Par ailleurs, Goas et al. (1970) notent la fluctuation dans les tissus de *Trigchin maritime* et du *Statice limonium*, de l'acide pipécolique, homologue supérieur de la proline, et ceci en fonction de la salinité du milieu extérieur.

#### **I.4.2.2.3. Accumulation de la proline**

La proline s'accumule fortement dans les plantes exposées au stress salin (Joshi, 1984 ; Boutellier, 1986; Weigel et *al.*, 1990) et varie dans les organes avec l'âge de la plante (Paquin et Pelletier, 1987 ; Ait-Sadi, 1990 ; Belkoudja, 1996). La plupart des travaux signalent que la proline migre vers les feuilles et s'y localise sous contrainte saline, le coton (Boutellier, 1986), l'aubergine (Joshi, 1984), et les fèves (Ait-Sadi, 1990).

Cependant, dans des conditions élevées de salinité, l'accumulation de la proline peut aller jusqu'à 100 fois la quantité normale qu'on retrouve dans les tissus. Belkoudja (1996), confirme que la proline évolue dans la plante au cours de son développement, et qu'elle varie en fonction de l'âge de la plante et de la concentration en sel du milieu. Dreier (1978), rapporte que l'augmentation de la teneur en proline est une réponse protectrice des plantes à tous les facteurs qui entraînent une diminution en eau du cytoplasme et une concentration de la proline ne change pas l'activité enzymatique

La particularité dans l'accumulation de la proline par les plantes hautement stressées peut être un des paramètres pour caractériser le développement de la tolérance à la salinité chez les glycophytes (Paquin et Pelletier, 1987). Néanmoins, il a été suggéré que la proline n'est qu'une substance symptomatique de stress (Hanson et Hirtz, 1982). Selon Stewart (1981), l'accumulation de la proline est une simple élévation de son niveau dans les tissus du végétal.

# Matériels et Méthodes

## Chapitre II : Matériels et Méthodes

### II.1. Matériel végétal est conditions de l'essai

---

La semence de féverole (*Vicia faba minor*) variété GIZA 402 (ICARDA); nous a été fournie par

l' I. T .G .C de Oued smar.

La terre utilisée dans notre expérimentation provient de la station expérimentale de la ferme centrale (Bouraoui El-Harrach) ; ce choix a été fait après un test de piégeage au phytotron, (Figure 1 et 2).



Figure 1 : Test de piégeage au phytotron



Figure 2 : Racine de féverole nodulé.

Les analyses physico-chimiques de notre échantillon de sol ont été réalisées au niveau du département de sciences des sols (INA) et du laboratoire de biologie des sols (INRA), selon les protocoles de Duchaufour (1970) et Aubert (1978). Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 3.

Tableau 4: Caractéristiques physico-chimiques de l'échantillon du sol.

Analyse	Elément	Résultat	Méthode
Granulométrique	<b>Argile</b>	<b>29.25%</b>	Méthode internationale
	<b>Limon fin</b>	<b>12.05%</b>	Pipette de Robinson
	<b>Limon grossier</b>	<b>11.50%</b>	
	<b>Sable fin</b>	<b>26.20%</b>	
	<b>Sable grossier</b>	<b>21.00%</b>	
Chimique	<b>C</b>	<b>1.59%</b>	Walkey-Black
	<b>MO</b>	<b>2.73%</b>	Anne
	<b>N</b>	<b>0.059%</b>	Kjeldahl
	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	<b>11.50%</b>	Calcimètre de Bernard
	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>19.49 (ppm)</b>	Joret- Hebert
	<b>pH</b>	<b>7.59</b>	pH mètre
	<b>Conductivité électrique</b>	<b>0.44 mmohs /cm</b>	Conductimètre

Le sol est de texture limoneux-argileux-sableux, teneur moyenne en matière organique, très faible en azote, avec une teneur modérée en calcaire totale, faible en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, légèrement alcalin et non salin.

## II.2. Dispositif expérimental

L'essai a été réalisé dans une serre en verre, à la station expérimentale de l'institut national agronomique (INA d'El-Harrach).

Le dispositif expérimental est de type bloc aléatoire complet comprenant quatre concentrations de NaCl, avec cinq répétitions pour chacune. Par ailleurs, ce dispositif est

répété 3 fois, ce qui donne 3 sous essais, dont chacun correspond à un stade phénologique de la culture (Figure 3).

Bloc1	C1	C2	T	C3
Bloc2	C1	C3	C2	T
Bloc3	C2	T	C3	C1
Bloc4	C3	C1	T	C2
Bloc5	T	C2	C1	C3

Stade végétatif

Bloc1	C1	T	C3	C2
Bloc2	T	C2	C1	C3
Bloc3	C1	C3	T	C2
Bloc4	C3	T	C1	C2
Bloc5	T	C1	C2	C3

Stade floraison

Bloc1	T	C2	C1	C3
Bloc2	C1	C3	T	C2
Bloc3	T	C3	C2	C1
Bloc4	C2	T	C1	C3
Bloc5	C3	C2	T	C1

Stade gousse

Figure 3: Dispositif expérimental.

Légende :

T : Pot irrigué avec de l'eau normale (témoin)

C1 : pot irrigué avec 50 mM de NaCl

C2 : pot irrigué avec 100 mM de NaCl

C3 : pot irrigué avec 150 mM de NaCl

### II.3. Conduite de l'essai

Un essai préliminaire a été réalisé un mois d'avance, pour voir le comportement de nos plantes vis-à-vis le stress salin (0, 50, 100,150 mM de NaCl) et fixé ainsi le protocole expérimental.

Semis :

Le semis a été réalisé à raison de trois graines par pot, après la levée nous avons fait un éclaircissage pour ne laisser qu'un seul plant par pot (Figure 4).



Figure 4 : Essai sous serre (plantes de féverole au stade 5 feuilles).

**Irrigations :**

Les plantes sont arrosées deux fois par semaine jusqu'au stade 5 feuilles, après ce stade, les plantes reçoivent trois arrosages par semaine.

Les différentes concentrations de NaCl appliquées (0, 50, 100 et 150 mM), sont inspirées des travaux de (Lachaal et al., 1995) sur lentille (*Lens culinaris*) et de celle de Lluch et al. (1994) sur fève (*Vicia faba*).

La contrainte saline est appliquée durant 3 jours aux trois sous essais ;

- Le 1<sup>er</sup> sous essai : stressé au stade 5 feuilles.
- Le 2<sup>ème</sup> sous essai : stressé au stade début floraison.
- Le 3<sup>ème</sup> sous essai : stressé au stade formation de gousse.

Le stress est ensuite levé par le retour à l'irrigation normale à l'eau douce.

## II.4. Paramètres étudiés

---

### II.4.1. Paramètres physiologiques

#### II.4.1.1. La proline

La proline est analysée dans les feuilles, prélevées en période de post-stress :

- Stade 5 feuilles (30 jours après semis).
- Stade pré-floraison (60 jours après semis).
- Stade formation de la gousse (90 jours après semis).

La proline est dosée selon la méthode de Trolleet Lindsay (1955) simplifiée et mise au point par Dreier et Goring (1974) cité par Monneveux et Nemmar (1986) . Elle est basée sur la

coloration rouge produite par l'interaction entre la proline et la ninhydrine dans un tampon acide.

On pèse 100 mg du matériel végétal pris dans le tiers médian de la feuille auxquels sont ajoutés 5ml de méthanol, l'ensemble est chauffé au bain-marie à 85 °C durant 1h. Après refroidissement, 1ml d'extrait de proline sont ajoutés 1ml d'acide acétique et 1ml du réactif de ninhydrine (1.25 de ninhydrine+30ml acide acétique+7.5ml d'acide orthophosphorique 85%+12.5 ml d'eau distillée)

Le mélange est porté à ébullition au bain-marie durant 30mn à 95°C. Après l'apparition de la couleur rouge et une fois refroidie, on rajoute 5 ml de benzène, après centrifugation au vortex deux phases se développent, une inférieure et une phase organique supérieure. Celle-ci est pipetée sa densité optique est mesurée à 528 nm.

Pour connaître la correspondance entre les densité optiques et les concentration on proline, une courbe étalon est réalisée à partir de concentration croissante en proline, préparées à partir d'une solution mère de 100Mg/ml.

$$\text{Concentration en proline ( } \mu\text{M/g MF )} = Y. 2.1000/\text{MF } 115.13$$

**Y** : densité optique

**MF** : masse de matière fraîche

$$\text{Masse molaire de la proline} = 115,13\text{g}$$

#### II.4.1.2. Mesure in situ de l'activité nitrate réductase (ANR)

L'assimilation de l'azote est estimée par la mesure de l'activité nitrate-réductase avec la méthode in-situ de Robin et *al.* (1983). Le dosage se fait sur une feuille entière, ce qui nous rend plus proche de la réalité. L'ANR décroît des feuilles récentes aux feuilles les plus anciennes (Fan et *al.*, 2005).

Cette méthode consiste à prélever une feuille saine entièrement formée du sommet de la plante où l'ANR est maximale et cela après 6 heures d'éclairement environ. Cet échantillon est immédiatement coupé ; il est pesé et placé dans un tube vénoject 13ml.

Ensuite le pétiole de la feuille excisée est plongé dans 0.5ml de  $\text{KNO}_3^-$  (0.2N) recouvert de papier aluminium pour assurer l'obscurité totale afin de réprimer la photosynthèse et de ce fait supprimer l'activité du nitrate réductase. Le tube est bien fermé par un bouchon en caoutchouc, transpercé par deux aiguilles creuses qui permettent de procéder à un balayage de l'atmosphère durant 1 minute à partir d'une bouteille d'azote gazeux. Le but de l'anoxie est de bloquer la respiration et de supprimer ainsi la compétition pour le pouvoir réducteur entre la nitrate réductase et la respiration. Le débit est réglé à une pression de 1.5 bars ; ce balayage est interrompu par le retrait simultané des deux aiguilles.

Après une période d'incubation de 30 mn, temps nécessaire pour la production de nitrites, 4 ml d'eau distillée bouillante sont ajoutés dans chacun des tubes vénoject, et placés dans un bain-marie durant 10mn afin d'extraire les nitrites produits.

Après refroidissement, 2 ml de sulfanilamide (10g/l dans Hcl 1.5 N) et 2ml de N.N.E.D (n.naphtyléthylène-diamine -dichlorure 0.2 g/l) sont ajoutés, ce qui permet d'obtenir une coloration rose.

Le dosage se fait au spectrophotomètre à 540 nm, qui donne des valeurs de densité optique (DO) proportionnelle à la quantité de nitrites diffusés dans le milieu.

Un échantillon témoin laissé à l'air libre et à la lumière, permet de retrancher à partir de la densité optique des échantillons, la part des nitrites présentes dans les tissus avant l'incubation.

L'activité nitrate réductase est exprimée en  $\mu\text{moles de NO}_2^-$  produit par gramme de poids frais et par heure. Cette activité se calcule par la formule suivante

$$\text{ANR} = \frac{\text{DO} \cdot \text{V} \cdot 60}{\text{P} \cdot \text{T} \cdot \text{E}}$$

ANR :  $\mu\text{moles de NO}_2^-$  /g MF/h.

DO : Densité optique à 540nm.

V : Volume d'extraction en litre  $8,5 \times 10^{-3}$ L.

P : Poids frais d'échantillon.

T : Temps d'incubation 30mn.

E : Coefficient d'extinction molaire  $47,8 \times 10^{-3}$ .

#### II.4.1.3. Mesure de l'activité réductrice de l'acétylène

La fixation de l'azote est estimée par la mesure de l'activité réductrice d'acétylène (ARA) directement dans le pot. Le dispositif utilisé pour cette mesure est une adaptation de la méthode de Balandreau et Dommergues (1971). Cette méthode consiste à isoler la partie souterraine de la plante de l'atmosphère extérieure ceci grâce à un sac en plastique hermétiquement fermé pour assurer l'étanchéité du dispositif d'incubation. Le volume réactionnel du pot correspond à la macro porosité du sol. Après 30 minutes d'incubation, 10 ml de gaz sont prélevés et stockés dans des tubes vénoject. L'éthylène produit est dosé par chromatographie en phase gazeuse.

5ml du contenu gazeux est prélevé et injecté à travers la pastille du chromatographe. La hauteur du pic d'éthylène permet de déterminer le nombre de moles d'éthylène contenu dans 1 ml injecté.

Les pics de sortie sont repérés sur le chromatographe dans l'ordre suivant : air,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ . De ce fait, la hauteur des pics des différents échantillons nous permet de calculer l'ARA selon la formule suivante :

$$\text{A.R.A (}\mu\text{moles de C}_2\text{H}_4\text{/heure/Plt)} = \frac{\text{H}_{\text{ech}} \times \text{V1} \times \text{V2} \times \text{V4} \times \text{V5} \times 60 \times 10^6}{\text{H}_{\text{ethy}} \times 24 \ 500 \times \text{V3} \times \text{V6} \times \text{V2} \times \text{t}}$$

V1:Volume éthylène étalon.

V2 : Volume d'injection au chromatographe.

V3 : Volume flacon étalon.

V4 : Volume vénoject.

V5 : Volume du pot.

V6 : Volume de prélèvement de l'échantillon.

T : Temps d'incubation.

#### **II.4.2. Paramètres morphologiques (Paramètres de croissances)**

Pour chaque stade phénologique, après 3 jours de stress ; un plant par bloc de chaque traitement est entièrement déterré pour mesuré les paramètres suivants :

- La hauteur de plant (Hp)
- La longueur des racines (LR)
- Le poids frais du système aérien (PFA)
- Le poids frais du système racinaire (PFR)
- Poids sec du système aérien (PSA)
- Poids sec du système racinaire (PSR)
- Le nombre de nodules (NN)
- Poids sec des nodules (PSN)

#### **II.5. Etude statistique**

---

Les résultats on fait l'objet d'une analyse de la variance à l'aide de logiciel STATITCF, les moyennes ont été classées selon le test de Newman–Keuls à 5% par le calcul des Plus Petites Amplitudes Significatives (PPAS) entres les 4 traitements salins.

# Résultats et Discussion

## Chapitre III : Résultats et Discussion

### III.1. Effet du stress salin (NaCl) sur l'activité réductrice d'acétylène l'ARA

---

La **figure 5** donne l'évolution de l'ARA en fonction de l'intensité du stress salin aux trois stades phénologiques de la féverole, les résultats obtenus montrent une baisse de l'ARA en fonction de la concentration en NaCl et l'analyse de la variance pour ce paramètre montre une différence très hautement significative entre les différents traitements et quel que soit le stade de développement de la féverole.

Au stade végétatif, l'application de 50mM de NaCl n'a pas d'effet marqué sur l'ARA, d'ailleurs, le teste de Newman-keuls classe les moyennes de ce traitement au même groupe homogène que celui du témoin.

Pour les concentrations de NaCl supérieur à 50mM, l'effet sur l'ARA est très marqué ou une diminution de 80% et de 95% est enregistrée respectivement pour le traitement 100mM et 150mM.

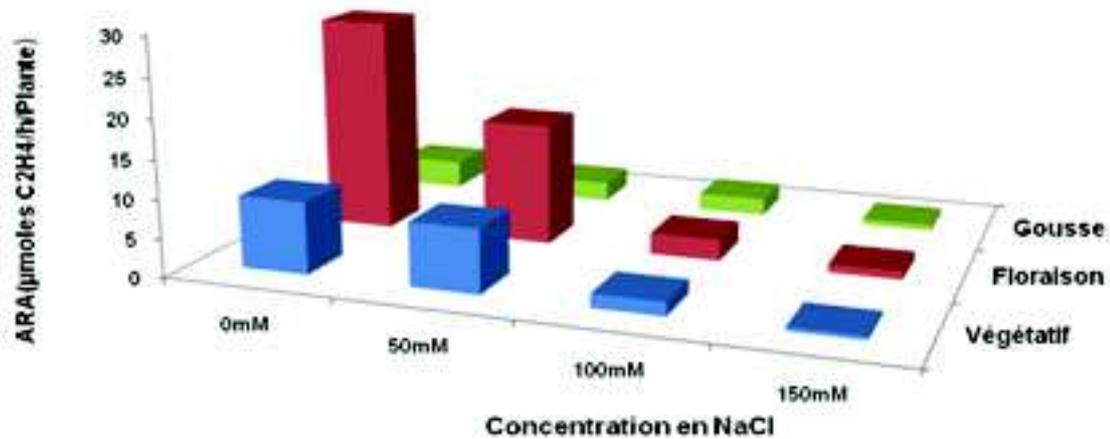
Bien que l'activité réductrice d'acétylène au stade floraison atteint son maximum, ce qui correspond aux nombreux résultats qui situent l'optimum de fixation de l'azote au stade floraison début formation des gousses chez les légumineuses (Wery, 1987; Salon et *al.*, 2001). Nous observons une diminution très forte dès l'application du premier niveau de stress. Aux stress sévères la fixation est fortement déprimée.

Au stade gousse, on enregistre une faible activité réductrice d'acétylène à tous les stades avec une très forte diminution avec le traitement 150 mM de NaCl. La baisse du niveau d'activité de l'ARA est interprétée comme une conséquence de la compétition exercée par les gousses au cours de leur remplissage. Elle est accentuée par la diminution rapide de l'activité des nodosités les plus âgées et la sénescence des feuilles dont les composés sont dégradés et remobilisés vers les graines (Frossard et Friaud, 1989 ; Serraj et *al.*, 2001)

Le stress obtenu avec des concentrations supérieures à 50 mM provoque une très forte réduction de l'ARA, mais n'aboutit jamais à une inhibition complète de la nitrogénase. En effet, cette espèce arrive à maintenir toujours une faible activité malgré la sévérité du stress, ce qui peut suggérer une action du sel non pas directement sur l'enzyme mais sur l'environnement qui fournit à cette enzyme les conditions favorables à son fonctionnement (Fernandez-Pascual et *al.*, 1996).

**Tableau 5: Effet du stress salin (NaCl) sur l'ARA, aux trois stades phénologiques**

Stades	Concentration en NaCl	Moyennes	GH	Proba	E.T	C.V	S.stat
Végétatif	0 mM	9.27	A	0.0000	0.88	17.8%	T.H.S
	50 mM	8.19	A				
	100 mM	1.77	B				
	150 mM	0.50	C				
Floraison	0 mM	27.78	A	0.0000	2.95	24.9%	T.H.S
	50 mM	15.68	B				
	100 mM	2.78	C				
	150 mM	1.06	C				
Gousse	0 mM	3.67	A	0.0000	0.35	15.2%	T.H.S
	50 mM	2.55	B				
	100 mM	2.24	B				
	150 mM	0.77	C				



**Figure 5:** Effet du stress salin (NaCl) sur l'ARA, aux trois stades phénologiques

La fixation symbiotique d'azote est dépendante du génotype de la plante hôte, microsymbiote et de

l'interaction de ces facteurs avec les conditions environnementales telle que la salinité (Belhadi et al.,2006).

### III.2. Effet du stress salin (NaCl) sur l'Activité nitrate réductase (ANR)

La **figure 6** indique l'évolution de l'activité nitrate réductase (ANR) en fonction des concentrations salines, aux trois stades de développement de la féverole.

Au stade végétatif, une forte diminution de l'ANR en fonction de l'intensité du stress est observée, d'ailleurs l'analyse de la variance pour ce paramètre révèle une différence très hautement significative, et le teste de Newman-keuls classe les moyennes de ce traitement en quatre groupes différents.

Au stade floraison, l'application de 50mM de sel avait augmenté l'ANR et elle a été doublée avec 100 mM de NaCl (**Tableau6**). On observe une légère diminution avec 150mM mais elle reste toujours supérieure à celle du témoin. Malgré ces constatations, l'analyse de la variance pour ce paramètre n'est pas significative.

Au stade gousse, on note une diminution progressive de l'ANR en fonction de l'intensité du stress, mais les valeurs de l'ANR sont toujours supérieures à celle du stade végétatif. L'analyse de la variance à ce stade est très hautement significative.

Les légumineuses dépendant uniquement du nitrate pour leur alimentation azoté tolèrent mieux la contrainte saline que celles utilisant l'azote fourni par la fixation symbiotique (Tu, 1981 ; Lauter et *al.*, 1981 ; Singleton et thornley, 1988).

### III.3. Effet du stress salin (NaCl) sur l'accumulation de la proline

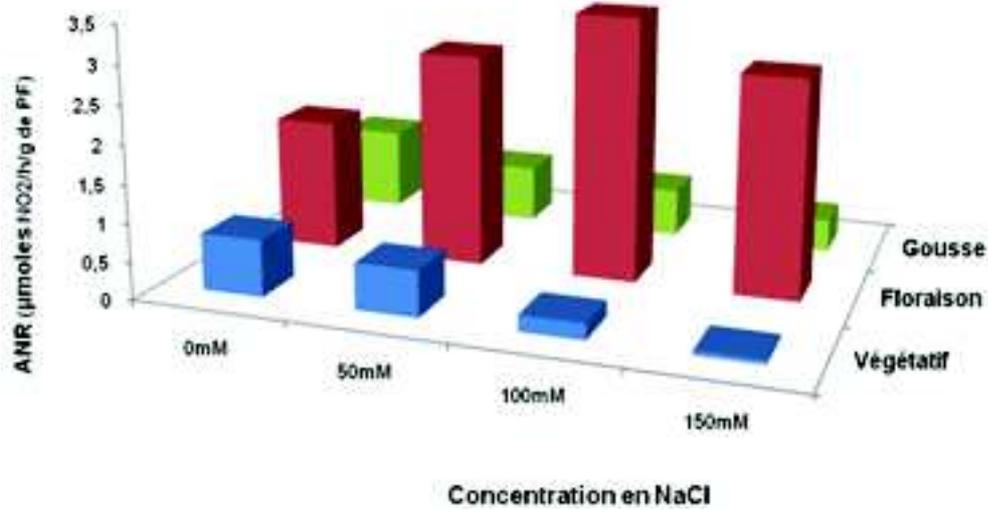
Les résultats de l'évolution de la teneur en proline au cours du cycle de développement de la féverole soumise à des concentrations croissantes de NaCl sont reportés sur le **tableau 7** et illustrés par la **figure 7**.

La contrainte saline se traduit généralement par une augmentation de la teneur en proline chez les plantes stressées par rapport aux plantes témoins.

Au stade végétatif, le traitement avec 150mM a donné des teneurs presque 10 fois plus importantes que celles du témoin. Elles passent de 0.09 $\mu$ moles/g de MF (témoin) à 0.88 $\mu$  moles/g de MF avec 150mM de NaCl. L'analyse de la variance révèle une différence hautement significative entre les différents traitements.

**Tableau6: Effet du stress salin (NaCl) sur l'ANR, aux trois stades phénologiques**

Stades	Concentration en NaCl	Moyennes	GH	Proba	E.T	C.V	S.stat
Végétatif	0 mM	0.75	A	0.0000	0.09	23.3%	T.H.S
	50 mM	0.61	B				
	100 mM	0.21	C				
	150 mM	0.06	D				
Floraison	0 mM	1.74	/	0.1555	1.11	40.8%	N.S
	50 mM	2.81	/				
	100 mM	3.46	/				
	150 mM	2.85	/				
Gousse	0 mM	1.09	A	0.0000	0.11	15.3%	T.H.S
	50 mM	0.75	B				
	100 mM	0.63	B				
	150 mM	0.43	C				



**Figure 6 :** Effet du stress salin (NaCl) sur l'ANR, aux trois stades phénologiques

L'accumulation de la proline au le stade floraison, est plus importante par rapport au stade végétatif, l'analyse de la variance montre une différence très hautement significatif entre les différents traitements.

Au stade gousse, l'application des premières concentrations de NaCl (50 et 100mM) provoque une légère augmentation de l'accumulation de la proline dans les feuilles, alors que l'accumulation de ce composé atteint des concentrations très forte avec 150mM où elle arrive à 3.56µmoles /g de MF ce qui correspond à plus de 8 fois la concentration de la proline chez le témoin.

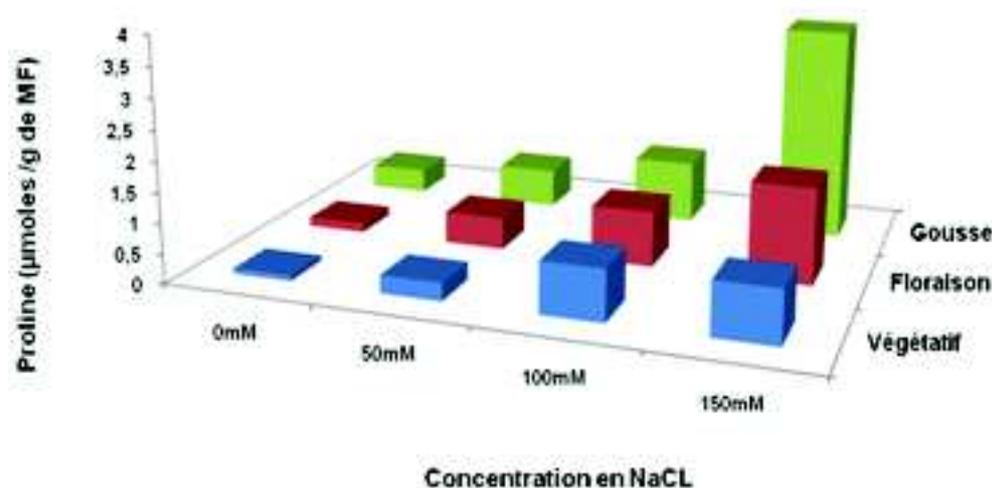
L'analyse de la variance pour ce paramètre est très hautement significative.

Nos résultats concordent avec ceux de Belkodja (1996), qui a confirmé que la proline évolue dans la plante au cours de son développement, et qu'elle varie en fonction de son âge et de la concentration en sel du milieu. Selon Paquin et Pelletier (1987) la particularité dans l'accumulation de la proline par les plantes hautement stressées peut être un des paramètres de la tolérance à la salinité chez les glycophytes. Les espèces végétales tolérantes absorbent de grandes quantités d'ions tout en maintenant la turgescence cellulaire et en évitant leur toxicité grâce à un compartimentage cellulaire et l'accumulation dans les vacuoles. L'équilibre osmotique du cytoplasme est alors assuré par une synthèse active de composés organiques solubles (Greenway et Munns, 1980).

**Tableau7:** Effet du stress salin (NaCl) sur l'accumulation de la proline, aux troisstades phénologiques

## Effet du stress salin sur la croissance et la physiologie de la féverole (*Vicia faba* L.).

Stades	Concentration en NaCl	Moyennes	GH	Proba	E.T	C.V	S.stat
Végétatif	0 mM	0.09	B	0.0027	0.30	56.9%	H.S
	50 mM	0.30	B				
	100 mM	0.85	A				
	150 mM	0.88	A				
Floraison	0 mM	0.16	C	0.0002	0.33	41.3%	T.H.S
	50 mM	0.54	B				
	100 mM	0.93	BC				
	150 mM	1.60	A				
Gousse	0 mM	0.41	C	0.0000	0.33	23.1%	T.H.S
	50 mM	0.65	BC				
	100 mM	1.04	B				
	150 mM	3.56	A				



**Figure 7:** Effet du stress salin (NaCl) sur l'accumulation de la proline, aux trois stades phénologiques

### III.4. Effet du stress salin (NaCl) sur la hauteur des plants

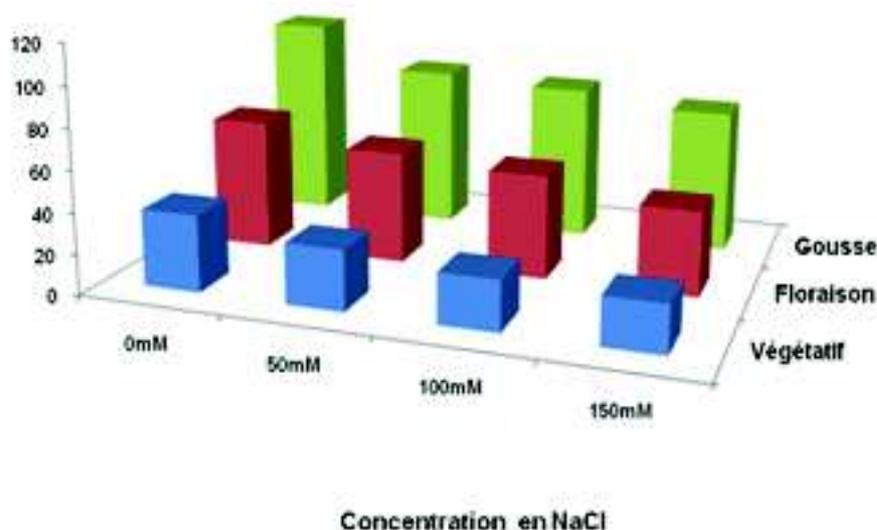
L'examen des **figures 8 et 9** qui représentent l'effet de la contrainte saline sur la hauteur du plant montrent que le sel a un effet réducteur sur ce paramètre.

Au stade végétatif, la hauteur du plant passe de 38cm chez le témoin à diminuer progressivement avec la concentration de la salinité ou elle arrive à 23.40cm avec 150mM de NaCl. Cette réduction est statistiquement très hautement significative. Selon (Benmahioul et al., 2009) la diminution de la croissance est le résultat au niveau cellulaire d'une baisse du nombre de divisions cellulaires lors des stress abiotiques (stress salin et hydrique).

L'effet du sel est similaire dans les deux stades floraison et gousse ; un maximum chez le témoin puis diminue progressivement avec l'augmentation de la contrainte saline. La réduction de la croissance aérienne observée peut s'expliquer par des perturbations des taux de certains régulateurs de croissance, notamment l'acide abscissique et les cytokinines induites par le sel (Termaat et al., 1985 ; Kuiper et al., 1990 ).

**Tableau 8 :** Effet du stress salin (NaCl) sur la hauteur des plants, aux trois stades phénologiques

Stades	Concentration en NaCl	Moyennes	GH	Proba	E.T	C.V	S.stat
Végétatif	0 mM	38.00	A	0.0000	1.87	6.4%	T.H.S.
	50 mM	29.80	B				
	100 mM	24.80	C				
	150 mM	23.40	C				
Floraison	0 mM	64.80	A	0.0000	2.95	5.5%	T.H.S.
	50 mM	55.60	B				
	100 mM	51.40	C				
	150 mM	41.80	D				
Gousse	0 mM	101.80	A	0.0000	5.79	7.0%	T.H.S.
	50 mM	80.80	B				
	100 mM	77.20	BC				
	150 mM	70.80	C				



**Figure 8 :** Effet du stress salin (NaCl) sur la hauteur des plants, aux trois stades phénologiques



**Figure 9 :** Effet du stress salin sur la croissance de la féverole aux différents stades phénologiques. (A) Stade végétatif, (B) Stade floraison et (C) Stade gosse.

### III.5. Effet du stress salin sur la longueur des racines.

Les résultats relatifs à l'effet du sel sur la longueur du système racinaire sont reportés dans le **tableau 9** et illustrés par la **figure 10**.

Au stade végétatif, l'application de 50 mM de Na Cl provoque une légère diminution de la croissance des racines, qui se stabilise malgré l'augmentation des doses de sel avec un

maximum de 53.80 cm chez le témoin et un minimum de 48cm avec le traitement 150mM, cette différence est statistiquement non significative.

Au stade floraison, la longueur des racines diminue progressivement avec l'augmentation de l'intensité du stress salin et à partir de 100mM on assiste à une inhibition de la croissance ou les racines deviennent noir et finissent par mourir (**Figure 11**). La mortalité des espèces végétales en milieu salin est le résultat d'une perturbation de l'alimentation hydrique et d'une inhibition du métabolisme (Flowers, 1981). L'analyse de la variance met en évidence une différence très hautement significative entre les différents traitements et le test de Newman et Keuls fait ressortir trois groupes homogènes.

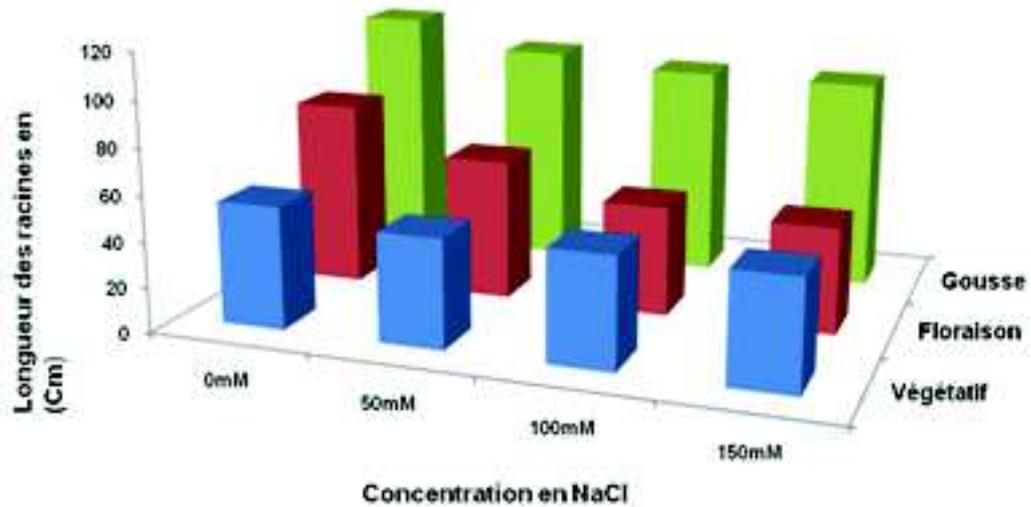
Au stade gousse, l'effet du stress salin sur la longueur des racines est similaire à celui du stade floraison. L'analyse de la variance montre un effet significatif entre les différents traitements.

La présence de sel dans le milieu de culture limiterait l'alimentation des plantes en calcium, ce qui conduirait à une inhibition de l'émergence et de la croissance des racines et des poils absorbants (Zahran et Sprent, 1986).

Selon Franklin et Zwiazek (2004), si la capacité osmorégulatrice des solutés compatibles en présence est excédée par les concentrations de  $\text{Na}^+$   $\text{Cl}^-$  dans le cytoplasme, il s'ensuit un dépérissement progressif de l'organisme.

**Tableau9: Effet du stress salin (NaCl) sur la longueur des racines, aux trois stades phénologiques**

Stades	Concentration en NaCl	Moyennes	GH	Proba	E.T	C.V	S.stat
Végétatif	0 mM	53.80	/	0.0909	3.87	7.8	N.S.
	50 mM	47.80	/				
	100 mM	48.60	/				
	150 mM	48.00	/				
Floraison	0 mM	81.40	A	0.0001	7.80	13.1	T.H.S.
	50 mM	62.00	B				
	100 mM	48.40	C				
	150 mM	46.66	C				
Gousse	0 mM	109.84	A	0.0254	8.60	8.8	S
	50 mM	97.71	B				
	100 mM	92.87	B				
	150 mM	92.43	B				



**Figure 10 :** Effet du stress salin (NaCl) sur la longueur des racines, aux trois stades phénologiques



**Figure 11:** Effet du stress salin sur la longueur des racines de la féverole au stade floraison.

### III.6. Effet du stress salin (NaCl) sur le poids frais des parties aériennes

Le **tableau 10** montre l'effet des doses croissantes de NaCl sur le poids frais des parties aériennes de la féverole.

Au stade végétatif, l'application de 50mM provoque une réduction de plus de 40% par rapport au témoin, alors qu'on note une certaine stabilité malgré l'augmentation de l'intensité du stress par les doses 100mM et 150 mM. Le test de Newman et Keuls classe

les différentes doses au même groupe homogène et l'analyse de la variance montre un effet très hautement significative entre les différents traitements.

L'augmentation de l'intensité du stress salin dans le stade floraison provoque une réduction progressive du poids frais: 15.62%, 42.64%, 60.85% respectivement par rapport au témoin, l'analyse de la variance pour ce stade montre une différence hautement significative entre les différents traitements.

Au stade gousse on note une chute du poids frais des parties aériennes qui est due à la fois à l'intensité du stress et au phénomène de maturation qui induit un dessèchement des plantes et donc une perte en eau des cellules (perte de turgescence des cellules).

Tableau10: Effet du stress salin (NaCl) sur le poids frais des parties aériennes, aux trois stades phénologiques

Stades	Concentration en NaCl	Moyennes	GH	Proba	E.T	C.V	S.stat
Végétatif	0 mM	20.89	A	0.0000	2.61	21.2	THS
	50 mM	11.28	B				
	100 mM	9.60	B				
	150 mM	7.51	B				
Floraison	0 mM	91.62	A	0.0124	23.55	36.6	S
	50 mM	77.31	A				
	100 mM	52.55	AB				
	150 mM	35.87	B				
Gousse	0 mM	152.80	A	0.0000	11.52	14.5	THS
	50 mM	84.57	B				
	100 mM	50.18	C				
	150 mM	25.99	D				

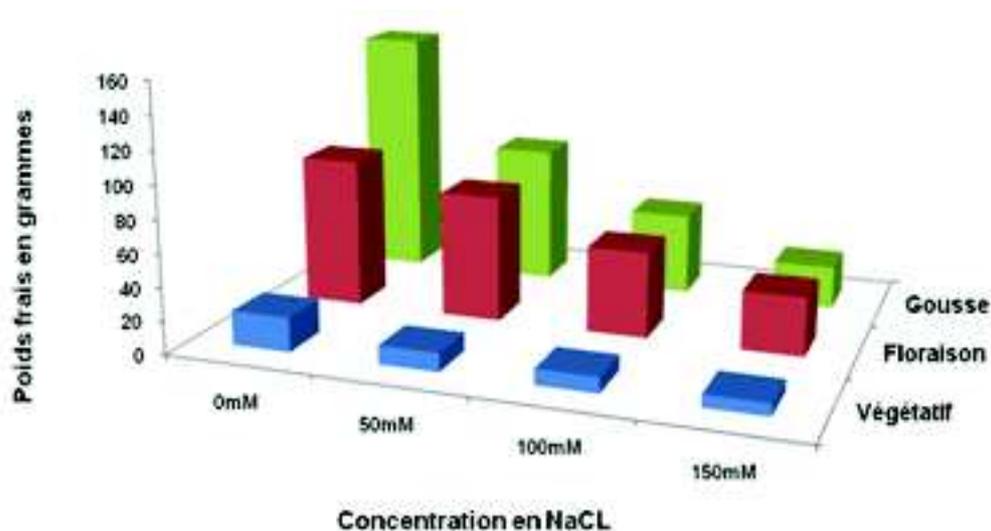


Figure 12 : Effet du stress salin (NaCl) sur le poids frais des parties aériennes, aux trois stades phénologiques

Le stress salin affecte la croissance du plant par la réduction du poids frais des parties aériennes ; cependant au stade végétatif et floraison il est plus nuisible qu'au stade développement des gousses. La contrainte saline durant les deux premiers stades ralentit

ou freine la croissance de la plante, par contre un stress durant le remplissage des gousses fais chuter le poids de la matière fraîche.

Selon Zhu (2001), la réduction de croissance de l'appareil végétatif aérien est une capacité adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles.

### III.7. Effet du stress salin (NaCl) sur la matière sèche aérienne

Les résultats de l'effet du stress salin sur la matière sèche aérienne sont résumés dans le **tableau 11**. L'analyse de la variance pour ce paramètre révèle une différence très hautement significative entre les différents traitements et quel que soit le stade de développement de la féverole.

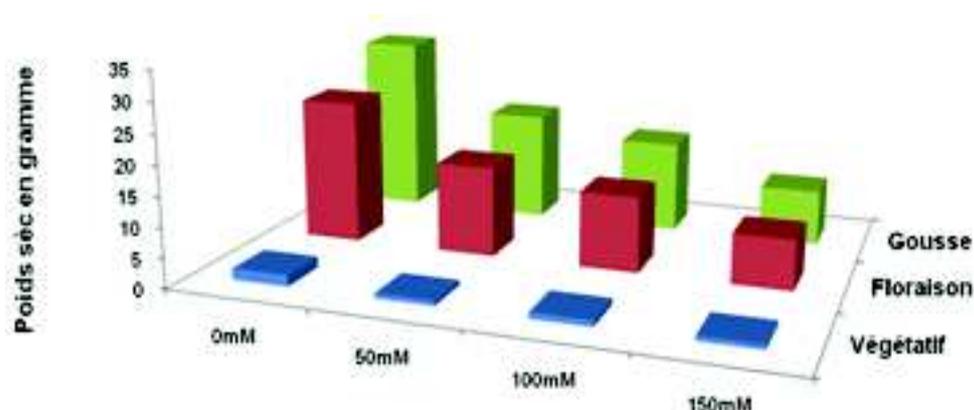
Au stade végétatif, le traitement salin entraîne, dès la première dose (50 mM de NaCl) une chute de l'accumulation de la matière sèche de plus de 40%, par rapport au témoin. Le teste de Newman et Keuls classe les traitements en deux groupes homogènes le témoin dans un groupe et les 3 doses salines dans l'autre groupe, c'est à dire, la plante a déjà dépassé son seuil de tolérance avec la dose 50mM.

Au stade floraison, une diminution très hautement significative de la matière sèche aérienne est observée. Le teste de Newman et Keuls classe les traitements en trois groupes homogènes.

Quand la contrainte saline est appliquée au stade gousse, on assiste à une forte baisse de la matière sèche aérienne ; elle passe de 30.19 g chez le témoin à 9.28 g avec 150 mM de NaCl. Ces résultats confirme la sensibilité de se stade ou la plante remobilise activement ses réserves pour la formation du grain (Saxena et al. ,1993).

**Tableau 11: Effet du stress salin (NaCl) sur le poids de la matière sèche des parties aériennes, aux trois stades phénologiques**

Stades	Concentration en NaCl	Moyennes	GH	Proba	E.T	C.V	S.stat
Végétatif	0 mM	1.89	A	0.0000	0.22	18.9	T.H.S.
	50 mM	0.87	B				
	100 mM	1.05	B				
	150 mM	0.81	B				
Floraison	0 mM	24.30	A	0.0000	2.21	14.5	T.H.S.
	50 mM	15.30	B				
	100 mM	12.78	B				
	150 mM	8.45	C				
Gousse	0 mM	30.19	A	0.0000	2.68	14.6	T.H.S.
	50 mM	18.44	B				
	100 mM	15.45	B				
	150 mM	9.28	C				



**Figure 13:** Effet du stress salin (NaCl) sur le poids de la matière sèche des parties aériennes, aux trois stades phénologiques

### III.8. Effet du stress salin (NaCl) sur le poids frais des racines

Au stade végétatif, le poids frais des racines diminue progressivement avec l'intensité du stress salin ; il va de 17.62g chez le témoin à 7.83g avec le traitement 150mM. Cette différence est statistiquement très hautement significative (**Tableau 12**).

Au stade floraison et gousse, le stress salin provoque aussi une diminution du poids frais des racines mais avec un degré moindre par rapport au stade végétatif.

### III.9. Effet du stress salin (NaCl) sur le poids sec des racines

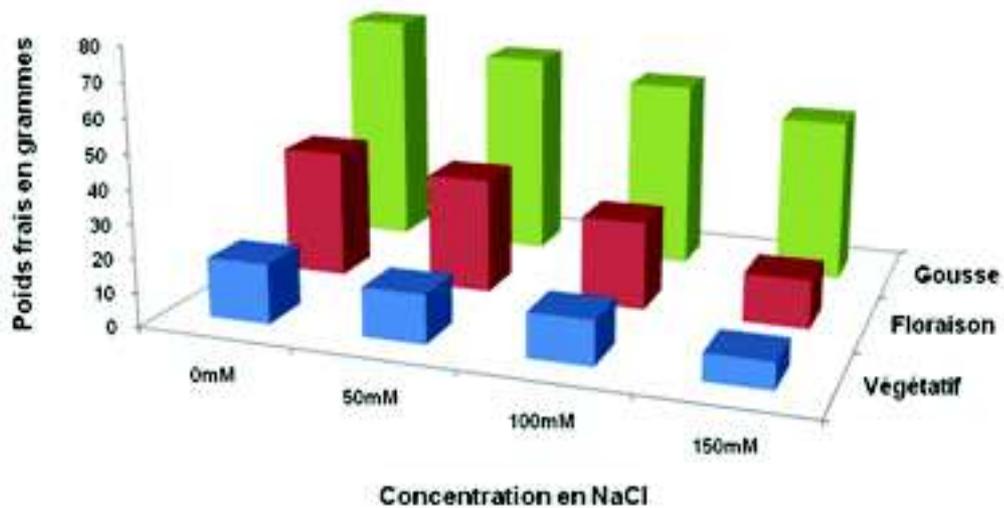
L'analyse de la variance pour ce paramètre montre un effet très hautement significatif entre les différents traitements et quel que soit le stade phénologique.

Au stade végétatif, le traitement salin entraîne une diminution du poids sec des racines dès 50mM de NaCl, avec une chute de plus de 50 % à 150mM de NaCl. On constate les mêmes effets du sel aux stades floraison et gousse (**Figure 15**).

La présence de sel dans le milieu de culture conduit à une diminution de la production de la matière fraîche et sèche des racines, alors que dans d'autres travaux, le sel stimule la production de ces dernières (Benmahioul et al., 2009 ; Bizid et al., 1988 ; Ben Rais, 1992 ; Radhouane, 2008). Ces plantes protègent leurs organes aériens contre l'envahissement des ions toxiques ( $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ ) par une rétention de ceux-ci dans les racines (Saadallah et Abdelly, 2001).

**Tableau 12:** Effet du stress salin (NaCl) sur poids frais des racines, aux trois stades phénologiques

Stades	Concentration en NaCl	Moyennes	GH	Proba	E.T	C.V	S.stat
Végétatif	0 mM	17.62	A	0.0000	1.07	8.1 %	T.H.S.
	50 mM	14.42	B				
	100 mM	13.04	B				
	150 mM	7.83	C				
Floraison	0 mM	38.25	A	0.0000	2.13	7.5%	T.H.S.
	50 mM	34.21	B				
	100 mM	26.07	C				
	150 mM	14.44	D				
Gousse	0 mM	70.54	A	0.0000	2.00	3.4%	T.H.S.
	50 mM	61.61	B				
	100 mM	56.12	C				
	150 mM	48.48	D				



**Figure 14:** Effet du stress salin (NaCl) sur poids frais des racines, aux trois stades phénologiques

**Tableau 13:** Effet du stress salin (NaCl) sur le poids sec des racines, aux trois stades phénologiques

Stades	Concentration en NaCl	Moyennes	GH	Proba	E.T	C.V	S.stat
Végétatif	0 mM	2.33	A	0.0001	0.28	17.7%	T.H.S.
	50 mM	1.79	B				
	100 mM	1.22	C				
	150 mM	1.10	C				
Floraison	0 mM	5.25	A	0.0000	0.42	11.4%	T.H.S.
	50 mM	4.11	B				
	100 mM	3.06	C				
	150 mM	2.22	D				
Gousse	0 mM	8.13	A	0.0000	0.33	5.6%	T.H.S.
	50 mM	6.32	B				
	100 mM	4.93	C				
	150 mM	4.11	D				

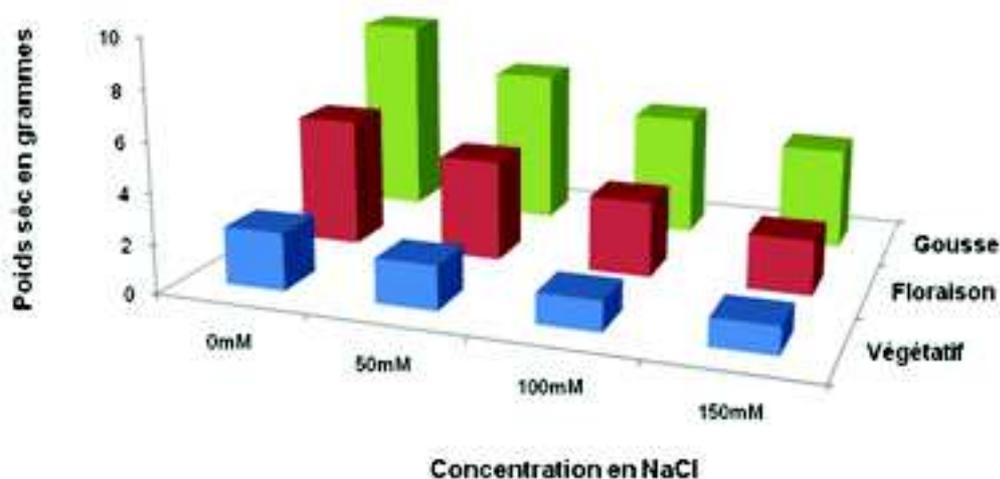


Figure 15: Effet du stress salin (NaCl) sur le poids sec des racines, aux trois stades phénologiques

### III.10. Effet du stress salin (NaCl) sur le nombre de nodosité

Les résultats relatifs au nombre de nodosités sont reportés dans le **tableau 14**. En comparant les témoins de chaque stade phénologique, le nombre de nodules le plus élevé est observé au stade floraison avec 187.60 nodules. Il est moins important au stade végétatif (176.20 nodules) et arrive à 106.80 nodules au stade gousse.

Au stade végétatif, l'application de 50mM de NaCl provoque une chute du nombre de nodules, qui s'accroît avec l'intensité du stress, et s'annule avec le traitement (150mM de NaCl). Saddallah et *al.* (2001) suggèrent que l'initiation nodulaire est particulièrement sensible au sel. Selon Carroll et Gresshoff (1983), le sel ne semble pas inhiber la nodulation en réduisant la synthèse des lectines indispensables pour la reconnaissance et l'adhésion des bactéries au niveau des poils absorbants.

Au stade floraison; le stress salin a les mêmes effets sur le nombre de nodule, pour les concentrations 50 et 100mM ; d'ailleurs le teste de Newman et Keuls classe ces traitements au même groupe homogène.

Au stade gousse, l'effet du stress n'est pas important sauf pour la concentration 150mM de NaCl ou on enregistre une diminution de 30 % par rapport au témoin, les autres concentration se classe dans le même groupe homogène

L'analyse de la variance, du nombre de nodules pour l'ensemble des stades de développement de la féverole montre un effet très hautement significatif.

L'existence d'une régulation des nodosités à l'échelle de la plante a été mise en évidence par de nombreux auteurs (Pierce et Bauer, 1983).

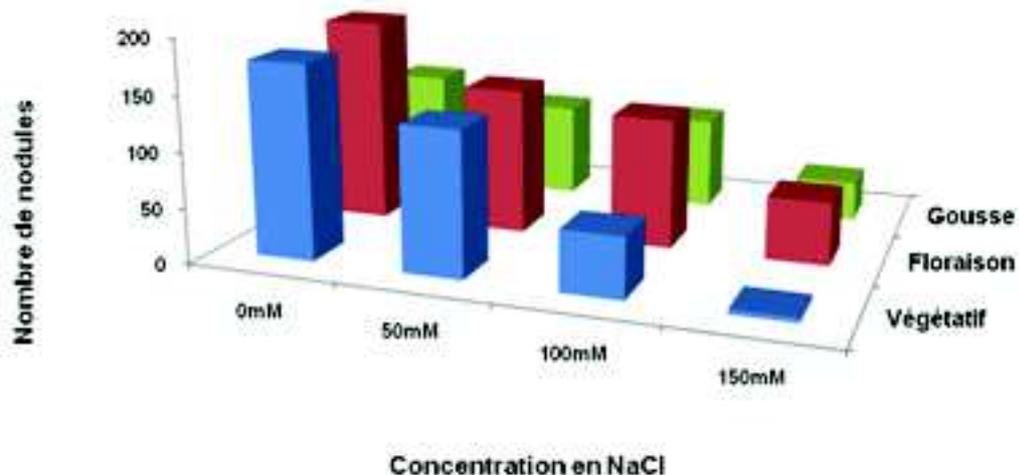
### III.11. Effet du stress salin sur matière sèche des nodules

L'effet du stress salin sur la matière sèche des nodules est illustré par la **figure 17**, qui montre en générale une diminution de la matière sèche en fonction des doses de sel, et ce pour l'ensemble des stades de développement étudiés. Ainsi l'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative entre les différents traitements et quelques soit la période de stress.

La réduction de la matière sèche résulte à la fois d'une inhibition de l'initiation et de la mise en place des nodules (estimée par le nombre de nodule) et de la croissance de ces organes (estimée par la taille des nodules). La comparaison des résultats du nombre de nodules et de la matière sèche relatif a permis les remarques suivantes :

**Tableau 14 : Effet du stress salin (NaCl) sur le nombre des nodules, aux trois stades phénologiques**

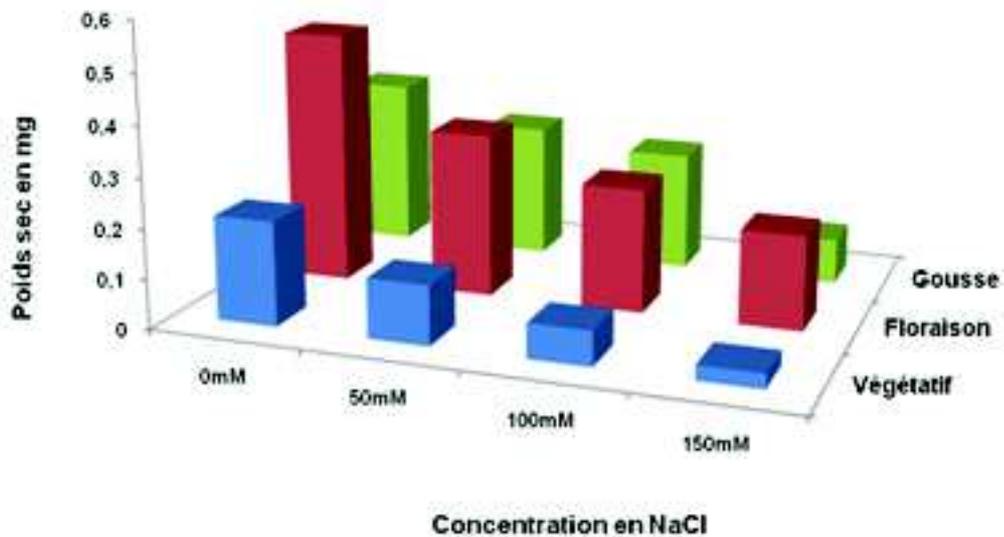
Stades	Concentration en NaCl	Moyennes	GH	Proba	E.T	C.V	S.stat
Végétatif	0 mM	176.20	A	0.0000	20.59	22.5%	T.H.S.
	50 mM	131.00	B				
	100 mM	54.80	C				
	150 mM	4.40	D				
Floraison	0 mM	187.60	A	0.0002	29.89	24.1%	T.H.S.
	50 mM	133.40	B				
	100 mM	118.20	B				
	150 mM	57.20	C				
Gousse	0 mM	106.80	A	0.0002	16.19	20.7%	T.H.S.
	50 mM	85.60	A				
	100 mM	84.20	A				
	150 mM	36.00	C				



**Figure 16:** Effet du stress salin (NaCl) sur le nombre des nodules, aux trois stades phénologiques

**Tableau 15 :** Effet du stress salin (NaCl) sur le poids sec des nodules, aux trois stades phénologiques

Stades	Concentration en NaCl	Moyennes	GH	Proba	E.T	C.V	S.stat
Végétatif	0 mM	0.21	A	0.0000	0.02	22.4%	T.H.S.
	50 mM	0.12	B				
	100 mM	0.07	C				
	150 mM	0.03	D				
Floraison	0 mM	0.51	A	0.0000	0.05	17.1%	T.H.S.
	50 mM	0.33	B				
	100 mM	0.25	C				
	150 mM	0.19	C				
Gousse	0 mM	0.34	A	0.0000	0.04	16.8%	T.H.S.
	50 mM	0.27	B				
	100 mM	0.24	B				
	150 mM	0.09	C				



**Figure 17:** Effet du stress salin (NaCl) sur le poids sec des nodules, aux trois stades phénologiques

En comparant avec les témoins pour chaque stade, le nombre de nodule augmente au stade floraison et décroît au stade gousse (176.20 ; 187.60 ; 106.80).

Pour les stress 100 mM et 150mM, le nombre de nodule a été plus important au stade gousse par rapport au stade végétatif ce qui exprime la grande sensibilité du stade végétatif par rapport au stade gousse. Les nodules de petite taille ne peuvent pas tolérer ces doses qui provoquent la sénescence prématurée de ces derniers avec flétrissement du système racinaire très jeune (**Figure18**)



**Figure18:** Flétrissement du système racinaire de la féverole au stade végétatif

L'effet du sel aux stades précoces de la nodulation se traduit par une réduction du nombre de nodules observée chez de nombreuses légumineuses *Glycine max* (James

et *al.*, 1993), *Cicer arietinum* (Soussi et *al.*, 1999), *Vigna radiata* (Hafeez et *al.*, 1988). Cependant, une stimulation de la croissance des nodules a été mise en évidence chez la fève (Yousef et Sprent, 1983) et les cultivars tolérants de pois chiche (Soussi et *al.*, 1999). Ce comportement assurerait une compensation partielle de la diminution du nombre et de l'efficacité des nodules.

### III.12. Discussion générale

---

Les impacts de sel sur le développement et le rendement des plantes sont nombreux. Les dégâts produits par le stress salin se manifeste par une séquence de changements morphologiques et physiologiques (Levingneron et *al.*, 1995).

Les résultats obtenus montrent que le stress salin se traduit par une diminution de l'activité nitrogénase qui s'accompagne d'une réduction de l'organogenèse nodulaire. En effet, il existe à l'échelle de la plante une corrélation entre l'activité réductrice d'acétylène (ARA) et la masse de la matière sèche des nodosités fonctionnelles (Tricot et *al.*, 1994). On sait aussi que la diffusion de l'oxygène dans les nodules est un facteur important dans la régulation de la fixation de l'azote (Weisz et *al.*; 1985). La perte du contenu en eau des nodules entraînerait leurs rétrécissement et une diminution de la porosité de leurs épiderme qui provoquerait une augmentation de la résistance à la diffusion de l'eau et de l'oxygène nécessaire aux bactéroïdes (Durant et *al.*, 1987 ; Serraj et Sinclair, 1998).

Les deux composantes impliquées dans la sensibilité de la symbiose au sel sont d'une part le développement et le fonctionnement des nodosités, d'autre part la croissance et l'aptitude des organes photosynthétiques à approvisionner les nodosités en photosynthétats.

Nos résultats montrent que la diminution de la matière sèche nodulaire en présence de sel est due à une réduction de la croissance des nodules liée à une restriction de l'alimentation de ces organes en photosynthétats. Une réponse analogue a été signalée chez le haricot (Sadallah

Et al 2001).

Une légère augmentation de l'ANR au stade floraison a été signalée avec les concentrations 50 et 100mM; mais qui reste non significative, selon plusieurs auteurs (Tu, 1981 ; Lauter et *al.*, 1981 ; Singleton et thornley, 1988). Les légumineuses dépendant uniquement du nitrate pour leur alimentation azotée tolèrent mieux la contrainte saline que celles utilisant l'azote fourni par la fixation symbiotique.

Ceci indique que les processus de la symbiose sont plus sensibles à la salinité que les mécanismes d'adsorption et d'assimilation du nitrate. Plusieurs données suggèrent que l'initiation nodulaire est particulièrement sensible au sel. La survie et la multiplication des rhizobia dans la rhizosphère ne semblent pas limiter la nodulation en milieu salé.

Les fortes concentrations salines peuvent affecter les différents stades de la plante (Patridge et Wilson, 1987 ; Thamiir, et Campbell, 1992). Cependant, ses effets s'expriment davantage chez les plantes soumises précocement à la salinité (Saadallah et *al.*, 2001). En effet, la tolérance au sel chez

*Vicia faba* augmente avec l'âge ( belkodage 1996) De plus ; la réduction de la croissance de l'appareil

photosynthétique est un indice de la résistance au sel (Neumann, 1997).

La réduction de la croissance des racines est associée à une inhibition de l'initiation et de la mise en place des nodules, estimée par le nombre de ces derniers. Ce comportement serait lié à une diminution des sites potentiels d'infection résultant essentiellement d'une inhibition de l'émergence et de l'élongation des poils absorbants et de la croissance du système racinaire en général (Sadallah, 2001). Les plantes sont capables dans une certaine mesure de compenser la diminution de la masse racinaire par une meilleure prédisposition à l'infection. Le nombre de nodules par unité de masse racinaire est généralement du même ordre de grandeur sinon plus élevé chez les plantes soumises au sel que les témoins.

## Conclusion

La productivité végétale est fortement limitée par l'azote dans les zones salées, dans ces conditions, les légumineuses sont a priori privilégiées puisqu'elles peuvent fixer l'azote atmosphérique en établissant une symbiose avec les rhizobia. L'intérêt du processus de fixation symbiotique de l'azote se trouve actuellement amplifié par l'exigence permanente d'une agriculture non polluante.

Les résultats obtenus montrent que le stress salin se manifeste par une séquence de changements morphologiques et physiologiques.

Une réduction significative de l'ARA qui s'accroît avec l'augmentation de la concentration saline, et qui est liée à une diminution de l'organogénèse nodulaire et l'efficacité de l'association symbiotique.

L'apport du sel au stade floraison, indépendamment de la dose utilisée, ne semble pas affecter l'ANR, elle a même tendance à augmenter, ceci indique que les processus de la symbiose sont plus sensibles à la salinité que les mécanismes d'adsorption et d'assimilation du nitrate

L'accumulation de la proline, évolue dans la plante au cours de son développement et augmente avec la concentration saline; cela peut être un paramètre pour caractériser le développement de la tolérance à la salinité chez la féverole.

Le sel réduit les différents paramètres de croissance de la féverole; en effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress.

La réduction de la croissance des racines est associée à une inhibition de l'initiation et de la mise en

place des nodules, estimée par le nombre de ces dernières ; ce comportement serait lié à une diminution

des sites potentiels d'infections.

La diminution de la matière sèche nodulaire en présence de sel, peut être due à une réduction de la

croissance des nodules liée à une restriction de l'alimentation de ces organes en photosynthétats.

Enfin, cette étude a permis de déterminer les périodes présentant une réaction plus ou moins

marquée vis-à-vis du stress : la sensibilité au stress est plus importante au stade végétatif qui semble

représenter une phase très sensible du cycle de la féverole.

Par ailleurs ces résultats doivent être confirmés dans un essai en plein champ ou la dynamique des

sels est plus complexe et dépend de nombreux facteurs du milieu.

La fixation symbiotique constitue un paramètre important à prendre en charge pour la compréhension des mécanismes impliqués dans la réponse de la plante au stress salin.

Sur le plan agronomique ; la fève joue un rôle significatif dans l'amélioration de la fertilité du sol grâce à sa capacité de fixer l'azote atmosphérique, de plus la relance de cette culture peut réduire les importations de soja et satisfaire une partie des grands besoins alimentaires du cheptel.

## Références bibliographiques

- Abdel-Gheffar A.S., El tahar R., Halfawi M.H., Abdel-Salem A., 1982** . Effect of inoculation, nitrogen fertilizer, salinity and water stress on symbiotic N<sub>2</sub> fixation by *Vicia faba* and *phaseolus vulgaris* in: GRAHAM P.H, Harris s.c eds: Biological nitrogen fixation technology for tropical agriculture Colombia, Centro international agriculture tropical cali. 153-60.
- Abdelly C., 2005**. Utilisation des halophytes pour la réhabilitation et la valorisation des sols salins. Séminaire international sur l'amélioration des productions végétales (APV2005)-LRGB-INA-Alger. PP.123-126
- Ait-Sadi M., 1990**. Comportement biochimique de quelques lignées de fève (*Vicia faba*) soumise à la salinité: étude particulière de la proline. Mémoire DES. Univ. Sénia. 65p.
- Alberico G. and Cramar G.R., 1993**. Is the salt tolerance of maize related to sodium exclusion, I.Preliminary screening of seven cultivars. *Journ.Plant Nut.* 16, 2289-2303.
- Alexander M., 1984**. Ecology of rhizobium in: Biological fixation, ecology, technology and physiology: (M. ALEXANDER.ed). Plenum Press. N.Y. pp.39-50.
- Arshi A., Abdin M.Z., Iqbal M. 2006**. Sennoside content and yield attributes of *Cassia angustifolia* Vahl. As affected by NaCl and CaCl<sub>2</sub>. *Sci. Horti.* 111: 84-90.
- Aryan A.P., Batt R.C. et Wallace W., 1983**. Reversible inactivation of nitrate reductase by NADH and the occurrence of partially inactive enzyme in the wheat leaf. *Plant Physiol.* 71.582-587.
- Aslam M., Huffaker R.C., Rais K. et Rao K.P., 1979**. Influence of light and ambient carbone dioxide concentration on nitrate assimilation by intact barey seedling .Ibid.63.1205-9P.
- Awada S., Cambell W.F., Dudley L.M., Juriak J.J., 1995**. Interactive effects of sodium chloride, sodium sulfate, calcium sulfate, and calcium chloride on snap bean growth, photosynthesis, and ion uptake. *Jour.Plant Nutr.* 18. 889-900.
- Badraoui M., Soudi B., et Ferhat A. 1998**. Variation de la qualité des sols Rev: Etude et Gestion des Sols. 5, 4 : 227-234.
- Balandreau J., Dommergues Y., 1971**. Mesure in-situ de l'activité nitrogénase. *C.R. Acad.Sci.* Paris, 273: 2020-2023.
- Ballesteros E., Blumwal E., Donaire J.P., Belver A. 1997**. Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiport activity in tonoplast vesicles isolated from sunflower roots induced by NaCl stress. *Physiol.Plant.* 99. pp. 328-334.
- Bekki A., Trinchani J.C., Ricaud J., 1987**. Nitrogen fixation (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> reduction) by Medicago nodules and Bactéroïdes under sodium chloride stress. *Physiol. Plant.* 71, 61-67.

- Belkhodja M., 1996.** Action de la salinité sur le comportement physiologique, minéral métabolique, et recherche de marqueurs moléculaires chez la fève (*Vicia faba* L.). Thèse Doct. En Sciences Biologiques, Univ. Oran. 255p.
- Ben Raïs L., 1992.** La résistance au sel chez jobjoba (*Simmondsia chinensis* (Link) Schneider): Modification de la composition lipoprotéiques des feuilles de plantes cultivées en présence de différentes concentrations de NaCl, Thèse de doctorat, Université de Paris-6. 141p.
- Benmahioul B., Daguin F., Kaid-Harche M., 2009.** Effet du stress salin sur la germination et la croissance *in vitro* du pistachier (*Pistacia vera* L.) C. R. Biologies 332: 752–758.
- Bernstein L. and Hayward H.E., 1958.** Physiology of salt tolerance. Ann.Rev.Plant Physiol. 9: 25-46.
- Bernstein L., 1963.** Osmotic adjustment of plants to saline media. II. Dynamic phase. Amer.J.Bot. 50, 360-370.
- Bernstein L., 1974.** Salt tolerance of plants. US department of agriculture. informatio. Bulletin 283.
- Binet P. 1976.** Succulence et activité pectinestérase chez *Aster trifolium* L. *Physiol. Vég.*, 14, 283-295.
- Bizid E., Zid E., Grignon C., 1988.** Tolérance à NaCl et sélectivité  $K^+/Na^+$  chez le Triticale, Agronomie 8 (1) 23–27.
- Botella M.A., Marinez V., Pardines J., Cerda A., 1997.** Salinity induced potassium deficiency in maize plants; J.Plant physiol. 150. pp. 200-205.
- Boutellier E., 1986.** Effet du chlorure de sodium sur la physiologie du cotonnier (*Gossypium histum*), son rôle dans l'acquisition de la résistance à la sécheresse. Thèse Doct.Univ.Paris. 142p.
- Carroll B. J., Gresshoff P.M., 1983.** Nitrate inhibition of nodulation and nitrogen fixation in white clover, Z. Pflanzenphysiol. 110: 69-76.
- Chen S., Li J., Fritz E., Wang S., Hüttermann A., 2002.** Sodium and chloride distribution in roots and transport in three poplar genotypes under increasing NaCl stress. *Forest Ecol. Manag.* 168: 217-230.
- Daoud Y. et Halitim A., 1994.** Irrigation et salinisation au Sahara Algérien, Sécheresse. 5 : 151–160.
- Daoud Y. et Rwanika J.B., 1991.** Influence du taux de sodium échangeable et de concentration saline sur la conductivité hydraulique d'un matériau argileux des plaines du Cheliff (Algérie). Bulletin de l'Office Nationale de la Géologie. Vol.2. N° 1. pp. 29-33.
- Davenport R., Reind R.J., Smith F.A., 1997.** Sodium–calcium interactions in two wheat species differing in salinity tolerance, *physiol. Plant* 99. pp. 323-327.
- Delgado M.J., Garrido J.M, Ligerio F. et Lluch C., 1993.** Nitrogen fixation and carbon metabolism by nodules and bactroides of pea plants under sodium chloride stress. *Physiol. Plant.*, 98. 824-829.

- Delgado M.J., Ligerio F. and Lluch C., 1994.** Effects of salts of stress on growth and nitrogen fixation by pea, faba-bean, common bean and soybean plants. *Soil-biol.Biochem.*, Vol 26, n°3, pp. 371-376.
- D ergaou i-G assem F., 1999.** Etude agronomique et génétique de la tolérance à la salinité de quatre variétés de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) et leurs hybrides. Thèse magister. INA. Alger. 140p.
- Djanaguiraman M., Sheeba J.A., Shanker A.K., Devi D.D., Bangarusamy U. 2006.** Rice can acclimate to lethal level of salinity by pre-treatment with sub lethal level of salinity through osmotic adjustment. *Plant Soil* . 284: 363-373.
- Dreir W., 1978.** Possibilité d'une élaboration d'un test de présélection des variétés des plantes ayant une haute tolérance ou résistance aux sels, sur la base de la relation entre la teneur en proline des tissus végétaux et la résistance aux sels. Journée d'étude et de la recherche agronomique de 22 au 30-3-78, INA. Alger.
- Drevon J.J., Abdelly C., Amarger N., Aouani E.A., Aurag J., Gherbi H., Jebara M., Liuch C., Payre H., Schump O., Soussi M., Sifi B., Trabelsi M. 2001.** An interdisciplinary research strategy to improve symbiotic nitrogen fixation and yield of common bean *Phaseolus vulgaris*) in salinised areas of the Mediterranean basin. *J. Biotech.* 91:257-268.
- Drouhin G., 1961.** Expérience Algérienne d'utilisation des eaux saumâtres pour l'irrigation avec référence particulière aux sols salins. UNESCO. Paris 150p.
- Durand J.L., Sheey J.E., Minchin F.R., 1987.** Nitrogenase activity, photosynthesis and nodule water potential in soybean plants experiencing water deprivation. *J. Exp .Bot.*, 38,311-321.
- Ellouze M. et al ., 1980.** Action de chlorure de sodium sur la composition lipidique des feuilles du Tournesol (*Helianthus Annuus* L.) et de la "Lime Rangpur"(*Citrus* )
- El-Sheikh E.A.E. and Wood M., 1990.** Effect of salinity on growth, nodulation and nitrogen fixation of chichpea (*Cicer ariantinum* L.) *Jour.Experi. bot.* 41.1263-1269.
- Epstien E., 1998.** How calcium enhances plant salt tolerance. *Science* 40: 1906-1907.
- F.A.O., 1974.** Definitions of soils units for the soil map of the world. *Bull.* 33. 72p.
- F.A.O., 2005.** Global network on integrated soil management for sustainable use of salt affected soils. Rome, Italy: FAO Land and plant nutrition management service. (<http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush> ).
- Fan X.H., Tang C., Rengel Z. 2005.** Nitrate uptake, nitrate reductase distribution and their relation to proton release in five nodulated grain legumes. *Annals of Botany.* 90: 315-323.
- Fernandes F.M., Arrabaça M.C., Carvalho L.M.M., 2004.** Sucrose metabolism in *Lupinus albus* L. under salt stress. *Biol. Plant.* 48(2): 317-319.
- Fernandez-Pascual M., D Lorenzo C., DE Felipe M.R., Rajalakshmi S., Gordon A.J., Thomas B.J., Minchin F.R., 1996.** Possible reasons for relative salt stress tolerance in nodules of white lupin.C.V.Multolupa.*Jour of experi bot*, vol.47, n°304, pp. 1709-1716.
- Flowers A.R. Yeo., 1981.** Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice (*Oryza sativa* L.) varieties, *New Phytol.* 88. 363–373.

- Franklin J.A., Zwiazek J.J., 2004.** Ion uptake in *Pinus banksiana* treated with sodium chloride and sodium sulfate. *Physiol. Plant.* 120: 482-490.
- Frossard J.S., Friaud J.F., 1989.** Root temperature and short term accumulation of carbohydrates in two different structural requirements for bacterial entry into target cells and induction of plant symbiotic developmental responses. *Plant cell.* 6 :1357-1374.
- Garcia A.B., de Almeida E.J., Iyer S., Gerats T., van Montagu M., Caplan A.B., 1997.** Effects of osmoprotectants upon NaCl stress in rice. *Plant Physiol.* 115: 159-169.
- Gale J., 1972.** Changes in water balance and photosynthesis of onion, bean and cotton plants under saline conditions. *Plants physiol.*, 20, 408-420.
- Ghassemi F., Jakeman A.J., Nix H.A., 1995.** Salinization of land and water Resources. Human causes, Extent, Management and case studies. Centre for resource and environmental Studies. The Australian National University. Canberra ACT **0200 Australia.**
- Gorham J., 1993.** Genetics and physiology of enhanced K/Na discrimination. in rodall., ed. genetic aspects of plant mineral nutrition. Kluwer academic publishers. Dordrecht. the Netherlands. pp. 151-159.
- Greive A.M., Walker R.R., 1983.** Uptake and distribution of chloride sodium and potassium ions in salt-treated *Citrus* plants, *Aust. J. Agric. Res.* 34 :133–143.
- Greub L.G., Droisom P.N., Rhoweder D.A., 1985.** Salt tolerance of grasses and legume for Roadside use. *Agro.J.* 77: pp.76-79.
- Grieve C.M., Poss J.A., Grattan S.R., Suarez D.L., Benes S.E., Robinson P.H., 2004.** Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuses systems II. Plant-ion relations. *Agri. Water Manag.* 70:121-135.
- Greenway E., Munns R., 1980.** Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes, *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31 :149–190.
- Hafeez F.Y., Aslam Z., Malik K.A., 1988.** Effect of salinity and inoculation on growth, nitrogen fixation and nutrient uptake of (*Vigna radiata* L.) Wilszek, *Plant and Soil.* 106. 3-8.
- Hamza M., 1977.** Action de différentes régimes d'apport de chlorure de sodium sur la physiologie de deux légumineuses: *Phaseolus vulgaris* (sensible) et *Hedysarum carnosum* (tolérante). Relation hydriques et relation ioniques. Thèse Doct.és Sci., Paris, 252p.
- Herrero J., 1992.** Dégradation du sol, et salinité associées à l'irrigation, corrections apportées en Aragon In : Foesser C. et J. Robert (Eds). Concilier l'agriculture et l'environnement, Syros-Alternatives. Paris, pp. 127-138.
- Huber W., Kreutmer F., Sankhala N., 1977.** Ecophysiological studies on indian acid zone plants. Effects of sodium chlorides and abscissic acid on amino-acid and protein metabolism in leaves of *Phaseolus contifolius*. *Z. Pflanzl. physiol.* 81(3), 234-247.
- James E.K., Sprent J.I., Hay G.T., Minchin F.R., 1993.** The effect of irradiance on the recovery of soybean nodules from sodium chloride-induced senescence, *J. Exp. Bot.* 44. 997-1005.

- Jin Z.M., Wang C.H., Liu Z.P., Gong W.J., 2007.** Physiological and ecological characters studies on *Aloe vera* under soil salinity and sea water irrigation. *Process Bioch.* 42: 710-714.
- Joshi S., 1984.** Effect of salinity stress on osmotic and mineral constituents in the leaves of pigeon pea *Cajanus cajanus* L. Var C .II. *Plant and sol*, 82. 69-76.
- Khoury Y., 1969.** Réactions physiologiques au chlorure de sodium. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, paris ,93p.
- Kinet J.M., Benrebiha F., Bouzid S., Lailhacar S., Dutuit P.,1999.** Le réseau Atriplex ou comment allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions semi arides et arides.IN ESTEM eds, Actualités scientifiques: Biotechnologie, amélioration des plantes et sécurité alimentaire: 89-93.
- K lyshen and R akova , 1964.** Effect of salinization of the substrate on the protein composition of the roots in pea shoots.*Bot. Inst. Akad. Nark.Kaz.Ssr.* 20. 156-165.
- Koyro H.W., 2006.** Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.) *Environ. Exp. Bot.* 56: 136-146.
- Kuiper D., Schuit J., Kuiper P.J.C., 1990.** Actual cytokinin concentrations in plant tissue as an indicator for salt resistance in cereals, *Plant Soil.* 123: 243–250.
- Kumar S., Naidu K.m ., Sehtiya H.L., 1994.** Cause s of growth reduction in elongating and expanding leaf tissue of sugarcane under saline conditions, *Aust.J.Plant Physiol.*21.pp.79-83.
- Lachaal M., Abdelly C., Soltani A., Hajji M., Grignon C., 1995.** Réponses physiologiques de quelques légumineuses spontanées et cultivées à la contrainte saline. In : facteurs limitant la fixation de l'azote dans le bassin méditerranéen Montpellier (France).Ed. INRA, Paris. Les colloques n°77. PP.94-110
- Larher F., Imamul -Huq S.M et Gerant-Sauvage D., 1987.** Sensibilité au chlorure de sodium chez les légumineuse au cours de leurs premiers stades de développement. In nutrition azotée des légumineuses, Versailles, Ed. Paris, N°37
- Lambers H., 2003.**Dryland salinity: A key environmental issue in southern Australia. *Plant Soil .*257: 5–7.
- Lapeyronie A., 1982.** Les productions fourragères méditerranéennes. Ed. Maison Neuve et la Rose, Paris. Tome1. 425p.
- Larsson M., Larsson CM., Whitford PN., Clarkson D.T. 1989.** Influence of osmotic stress on nitrate reductase activity in wheat (*Triticum aestivum* L.) and the role of abscisic acid. *J Exp Bot* 40: 1265-1271.
- Lauter D.J., Munns D.N., Clarkin K. L., 1981.** Salt response of chickpeas influenced by N supply. *Agron . J.* 73. pp. 961-966.
- Lauter D.L., Munns D.N., 1986.** Salt resistance of chickpea genotypes in solutions salinized with NaCl or Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> . *Soil*, 95, 271-273.
- Levigner A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P., Casse-Delbart F., 1995.** Les plantes face au stress salin, *Cah. Agri.* 4: 263–273.

- Levitt J., 1972.** Responses of plants to environmental stress 10: Salt and stress. Acad. Press. N.Y., San Francisco, London. 489-530.
- Leguen J., duc.G., Charpentier F., 1989.** Sélection de la fève : Situation actuelle et perspective. Journée internationale sur les protéagineux. (Paris) ITFC UNIP. pp:25-31.
- Libal–Wekster Y., Nir M., Ben–Hayyim G., Telore E., 1994.** Starch metabolism in salt tolerant and salt sensitive, *Plant Physiol. Biochem.* 32. pp. 3-13.
- Liu G.F., Liu G.J., Yang C.P, Wang H.M., 1998.** The analysis of hormonal change and salt resistant ability of tree species under salt stress, *J. Northeast For Univ.* 26:1–4.
- Lluch C., Delgado M.J., Cordovila P., Ocana A., Ligerio F., 1994.** Aspects physiologiques de la fixation d'azote de la symbiose rhizobium légumineuses sous stress salin : effet de nitrate. In : facteurs limitant la fixation de l'azote dans le bassin méditerranéen Montpellier (France). Ed. INRA, Paris. Les colloques n°77 : pp.50-57
- Maas E.V. (1986)** Salt tolerance of plants. *Appl. Agric. Res.* 1: 12-26.
- Maggio A., De Pascale S., Angelino G., Ruggiero C., Barbieri G., 2004.** Physiological response of tomato to saline irrigation in long-term salinized soils. *Europ. J. Agron.* 21:149-159.
- Marcum K.B., 2006.** Use of saline and non-potable water in the turf grass industry: Constraints and developments. *Agri. Water Manag.* 80: 132-146.
- Maricle B.R., Cobos D.R., Campbell C.S. 2007.** Biophysical and morphological leaf adaptations to drought and salinity in salt marsh grasses. *Environ. Exp. Bot.* 60: 458-467.
- Masters D.G., Benes S.E., Norman H.C., 2007 .** Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agri. Ecosys. Environ.* 119: 234–248.
- Maatougui M.E.H., 1987.** Pasture forage and food légumes in Alegria. In : *Legume genetic resources for semi-arid temperate environments.* Smith A Roberstson L. Editions pp :19-27.
- Maatougui M.E.H., 1996.** Situation de la culture des fèves en Algérie et perspective de la relance. In *Réhabilitation of Faba Bean.* Ed. Actes ,Rabat. pp : 17-32.
- M eddahi M., F ayens V. , Mallani .S .D., 1993.** Modélisation de l'évolution de la salinité dans la zone racinaire
- Mengel K and Kirkby, 1982.** Principles of plant nutrition. International potash institut, Bern. Pp 655.
- Meychik N.R., Nikolaeva J.I., Yermakov I.P., 2005.** Ion exchange properties of the root cell walls isolated from the halophyte plants (*Suaeda altissima* L.) grown under conditions of different salinity. *Plant Soil .* 277: 163-174.
- Munns R., Termaat A., 1986.** Whole plant responses to salinity. *Aust jour plant physiol.* 13. 143-160.
- Mustard J., Renault S., 2004.** Effects of NaCl on water relations and cell wall elasticity and composition of red-osier dogwood (*Cornus stolonifera*) seedlings. *Physiol. Plant.* 121: 265-271.
- Nedjimi B., 2010.** Recherche sur les possibilités de la valorisation des sols sales en zone steppique. Etude de la tolérance d'Atriplex halimus aux sel soluble. Thèse de doctorat INA.El-Harrach.201p.

- Neuhaus H. E., 2007.** Transport of primary metabolites across the plant vacuolar membrane. *FEBS Letters*. 581: 2223-2226.
- Neumann P.M., 1997.** Salinity resistance and plant growth revisited, *Plant Cell Environ.* 20 :1193–1198.
- Nieman R.H., 1965.** Expansion of bean leaves and its suppression salinity. *Plant Physiol.* 40.156-161.
- Noiraud N., Maurousset L., Lemoine R., 2001.** Transport of polyols in higher plants. *Plant Physiol. Bioch.* 39: 71 7–728.
- Niu X., Bressan R.A., Hasegawa P.M. and Pardo, J.M. 1995.** Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiol.* 109, 735-742.
- Osmond C.B., Bjorkman O., Anderson D.J. 1980.** Absorption of ions and nutrients in WDB Durham, FG Athens, OLL Xurzburd, JSO Oakridg (eds): *Physiological processes in plant ecology, ecological studies*, Springer-Verlag, Berlin, New York, 191-250.
- Paquin R. et Pelletier., 1987.** Influence de l'âge des plantes sur la tolérance au gel et la teneur en proline et en matière sèche de la luzerne (*Medicago media pers*) *Acta Oecol.Plant*, 8. 69-80.
- Parida A.K., Das A.B., 2005.** Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotox. Environ. Safety.* 60: 324–349.
- Patridge T., Wilson J.B., 1987.** Germination in relation to salinity in some plants of salt marshes in Otago, New Zeland. *J. Bot.* 25 :255–261.
- Pérez-Alfocea F., Larher F., 1995.** Sucrose and proline accumulation and sugar efflux in tomato leaf discs affected by NaCl and polyethylene glycol 6000 iso-osmotic stresses. *Plant Sci.* 107 :9-1
- Pocard J.A., Bernard T., Rudulier D., 1991.** Translocation and metabolism of glycine betaine in nodulated alfalfa plant subjected to salt stress. *physiol. plant.* 81. pp. 95-102.
- Radhouane L., 2008.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains chez quelques écotypes de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) autochtones de Tunisie, *C. R.Biologies.* 331: 278–286.
- Rai R.,Nasar S.K.T.,Singh S.H.,Prosad V., 1985.** Interaction between rhizobium strains and lentil (*Lens culiniras*) genotypes under salt stress *J.Agr.Sci., combridge.* 100.81-86.
- Rains D.W., 1972.** Salt transport in relation to salinity. *Ann. Rev .Plant Physiol.*, 23,367.
- Ramage R.T., 1980.** Genetic methods to breed salt tolerance in plants. In : Rais DW, Hollaender RW, Hollaender A, eds. *Genetic engenneering of osmoregulation.*New York: Plenum. 311-8.
- Rathinasabapathi B., 2000.** Metabolic engineering for stress tolerance: Installing osmoprotectant synthesis pathways. *Ann. Bot.* 86: 709-716.
- Redondo-Gomez S., Wharmby C., Castillo J.M., Mateos-Naranjo E., Luque C.J., de Cires A., Luque T., Davy A.J., Figueroa M.E., 2006.**Growth and photosynthetic responses to salinity in an extreme halophyte, *Sarcocornia fruticosa*. *Physiol. Plant.* 128: 116-124.

- Robin P., Conejero G., Passama L., Salsac L., 1983.** Evaluation de la fraction métabolisable du nitrate par la mesure *in situ* de sa réduction. *Physio. Vég.* 21(1) : 115-122.
- Saadallah K, Drevon J.J, Abdelly C., 2001.** Nodulation et croissance nodulaire chez le haricot (*phaseolus vulgaris*) sous contrainte saline. *Agronomie.* 21: 627-634.
- Saadallah K., Abdelly C., 2001.** Réponses physiologiques au sel de deux variétés de Haricot : Coco blanc sensible et BAT 477 tolérante, in : A. Hanafi, L. Kenny (Eds.), *Agriculture biologique dans le bassin méditerranéen.* pp. 453–463.
- Saakya and Petro Soy, 1964.** Effect of soil salinity on the level of nucleic acid and nitrogenous substances in grape leaves. *Fision .Rest.,* 11,681-688.
- Saidi J., 2004.** Influence de la phase saline sur les propriétés physiques des matériaux argileux du bas Cheliff. Thèse de Doctorat d'Etat en Science Agronomiques. Spécialité Science du Sol. 181p.
- Salim S. et Tessier D., 1998.** Evolution des propriétés physiques et physico-chimiques de sols salés de la basse vallée de l'Euphrate (Syrie). *Etude et Gestion des Sols.* 5, 4: 277- 287.
- Salon C., Munier-Jolain N., Duc G., Voisin A., Grandgirard D., Larmure A., Emery R., 2001.** Nitrate reduction and nitrogen fixation in symbiotic association *rhizobium*-legumes. *Plant. Physio:* 49(2) 6p.
- Sato S., Sakaguchi S., Furukawa H., Ikeda H., 2006.** Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Sci. Horti.* 109: 248-253.
- Sauvage D., Hamlin J., Larher F., 1983.** Glucine betaine and other structurally related compounds improve the salt tolerance of *Rhizobium metaliloti*. *Plant sci. Lett.,* 31,291-302.
- Saxena N.P., Johansen M.C., Saxena MC, Silim S.N., 1993.** Selection for drought and salinity tolerance in cool-season food legumes, in: Singh K.B., Saxena M.C. eds *Breeding for Tolerance in Cool-season Food Legumes.* 245-270.
- Schwartz M. and Gale J., 1981.** Maintenance respiration and carbon balance of plants at low level on sodium chloride salinity. *J. Exp. bot.* 32.933-941.
- Serraj R. and Sinclair T. R., 1998.** Soybean cultivars variability for nodule formation and growth under drought. *Plant and soil.* 202. 159-166.
- Serraj R., Roy G., Drevon J.J., 1994.** Salt stress induces a decrease in their oxygen uptake of soybean nodules and in their permeability to oxygen diffusion *Plant. Physiol.* 91. 161-168.
- Serraj R., Vadez V., Sinclair T., 2001.** Feedback regulation of symbiotic nitrogen fixation under drought stress. *Agronomie.* 21: 621-626.
- Shabala S., Shabala L., Van Volkenburgh E., Newman I., 2005.** Effect of divalent cations on ions fluxes and leaf photochemistry in salinized barley leaves. *J. Exp. Bot.* 415: 1369-1378.
- Shannon M.C., 1998.** Adaptation of plants to salinity in: *advances in Agronomy.* 60. 70-120.

- Shay E. G., 1990.** Saline agriculture. Salt-tolerant plant for developing countries. Report of a panel of board on science and technology for international development office of international affairs national research; national academy press, Washington.
- Singleton P.W., Ben Behloul B., 1984.** Effect of salinity on nodule formation by soybean. *Plant Soil*, 4, 72-76.
- Slama F., 1974.** Absorption du sodium et du potassium par des fragments de limbe et de tige du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) et du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.). Thèse 3<sup>e</sup> Cycle, Paris, 99p.
- Slama F., 1986.** Interaction des racines dans la sensibilité ou la tolérance à NaCl de plantes cultivées. *Agronomie*. 6(7).651-658.
- Souissi A., 2000.** Effet du sel sur le comportement physiologique du pois chiche (*Cicer arietinum*), en relation avec le monde de nutrition azotée, DEA. Tunis, 94p.
- Soussi M., Lluch C., Ocana A., 1996.** Comparative study of nitrogen fixation and carbon metabolism in two chick-pea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under salt stress, *J.Exp.Bot.* 50:1701-1708.
- Szabolcs I., 1994.** Soils and salinization .In M. pessarak eds, *Plant and crop stress*. New york –Basel-Hong kong. pp. 3-11.
- Tabet D., Zimmer D., Strosser P. and Vidal A., 1998.** Irrigation management and soil salinity diagnosis. A study case in Pakistan 16<sup>ème</sup> Congrès Mondial de Science du Sol Montpellier.
- Termaat A., Passora J.B., Munns R., 1985.** Shoot turgor does not limit shoot growth of NaCl affected wheat and barley. *Plant Physiol.* 77: 869–872.
- Thamir S.A., Campbell W.F., Rumbaugh M.D., 1992.** Response of Alfalfa cultivar to salinity during germination and post germination, *Growth Crop Sci.* 32:976–980.
- Torres B.C. et Bingham F.E., 1973.** Salt tolerance of Mexican wheat. in: effect of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and NaCl on mineral nutrition, growth and grain production of wheats. *Soil Sci.Soc.Amer.Proc.*,37,711-715.
- Tricot F., 1993. **Mise en place des nodosités du pois protéagineux ( *Pisum sativum* L.) Influence de la nutrition carbonée.** Thèse de Doctorat, Université Paris–Sud Orsay.
- Tu J.C., 1981.** Effect of salinity on Rhizobium-root–hair interaction, nodulation and growth of soybean. *Can.J.Plant Sci.* 61: 231-239.
- Tuna A.L., Kaya C., Ashraf M., Altunlu H., Yokas I., Yagmur B., 2007. **The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress.** *Environ. Exp. Bot.* 59:173-178.
- Tyerman S.D., Skerrett I.M., 1999.** Root ion channels and salinity. *Sci. Horti.* 78: 175-235.
- Valles, V., Bourgeat, E., Guiresse, M. (1988).** Calcul des doses d'irrigation pour les sols salés application d'une méthode géochimique de calcul à un sol tunisien en collaboration avec ORSTOM, Ser. Pedol. Vol. XXIV, 2 : 155 - 122.

- 
- Vincent J.M., 1981.** Genus *Rhizobium*. In "The procaryotes" Starr M.P., Stolp H., Balows A. et Schlegel H.G. Eds. Springer, Verlag, Berlin. pp. 97-128.
- Volkmar K.M., Hu Y., Steppuhn H., 1998.** Physiological responses of plants to salinity: A review. *Can. J. Plant Sci.* 78: 19-27.
- Wery J., 1987.** Relations entre la nutrition azotée et la production chez les légumineuses. In : Nutrition azotée des légumineuses, Versailles, Ed. Paris, N°37.
- Wilson J.R., 1970.** Response to salinité in gilycine.VI.some effect of a range short term salt stress on the growth, nodulation and nitrogen fixation of glycine wightii *Aust.J.agrie.Res*, 21.571-582.
- Wilson J.R., Norris D.O., 1970.** Some effects of salinity on glycine max and its rhizobium symbiosis.*Proc.Inter.grassland congress.11* :458-544.
- Wilson C., Lesch S.M., Grieve C.M., 2000.** Growth stage modulates salinity tolerance of New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides*, Pall.) and red orach (*Atriplex hortensis* L.). *Ann. Bot.* 85: 501-509.
- Yousef A.N., Sprent J.I., 1983.** Effect of NaCl on grouiwth, nitrogen incorporation and chemical composition of inoculated and NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> fertilized *vicia faba* L. *Plants, J.Exp.Bot.*143:941-950.
- Zahran H., 1999** .Rhizobium –legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in arid climate. *Microbial. Mol. Biol. Rev.*, n°63 PP: 968- 989.
- Zahran H., Sprent I., 1986.** Effet of sodium chloride and polyethylene glycol on root-hair infection and nodulation of *vicia faba* L. plant by *Rhizobium leguminosarum*. *Planta.*167: 303-309.
- Zhao K., Fan H., Song J., Sun M., Wang B., Zhang S., Ungar I.A. 2005.** Two Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> hyper accumulators of the Chenopodiaceae. *Acta Bot. Sinica* 47(3): 311-318.
- Zhu J.K., 2001.** Plant salt tolerance, *Trends Plant Sci.*6:66-71.