



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère De L'enseignement Supérieur et De La Recherche Scientifique

Université De Blida -1-

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département De Biotechnologie et Agro écologie

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de master en Science de la nature et de vie

Spécialité : Biotechnologie Végétale

Thème :

**Rapport entre l'accumulation de la proline et la tolérance au stress salin
chez le haricot (*Phaseolus vulgaris L*)**

Présenté par :

- DILMI SOUAD
- HATTABI CHEIMA
- OUCHERIF HASSINA

Devant le jury composé de :

Mr. ZOUAOUI A.	M.C.A	président
Mme. BEN ZAHRA S.	M.C.B	promotrice
Mr. SNOUSSI S A.	Professeur	Examineur

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

Nous remercions d'abord le bon dieu qui m'a donné la volonté pour réaliser ce travail et le courage pour surmonter les difficultés rencontrées.

Nous exprimons nos sincères remerciements

A notre promotrice, **M^{ME} BEN ZAHRA.**, pour avoir accepté de diriger ce travail, sa confiance, sa patience et ses orientations et ses conseils. Et bien sûr, sans oublier **Mr. ZOUAOUI** pour son aide et ses encouragements à notre égard.

Nous adressons également nos remerciements à tous les membres de jury,

Mr SNOUSSI et Mr ZOUAOUI Nous sommes très reconnaissant à leurs remarques et commentaires qui nous ont aidés beaucoup pour mieux présenter ce document.

Un grand merci pour nos enseignants qui nous ont suivis tout au long de notre parcours, aux quels revient le mérite de notre réussite.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible, Merci d'être toujours là pour moi.

A tous mes enseignants et mes encadreurs qui tout au long du chemin m'ont encouragé et remis sur la bonne voie.

HASSINA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*A mes chers parents ma mère et mon père pour leur patience, leurs aide,
leur amour, leur soutien et leur encouragement.*

A mes chers frères Mohamed, Youssef, Nabil, Nassreddine, et Ayhem.

A ma chère sœur Hanane source de force et encouragement.

A mes chères amies Hassina et Souad et à tous membres de ma promotion.

Cheima

Dédicace

Je dédie ce travail

A mes très chères parents, en témoignage de ma reconnaissance pour leur amour, soutien et encouragement. Je n'oublierai jamais leurs patiences et compréhension envers moi, et l'aide qu'ils m'ont portée pour faciliter la tâche.

Que dieu les garde et protège.

A tous ma grande famille mes sœurs, leurs maries, mes frères, leurs femmes, et mes neveux et nièces qui je les adore infiniment.

A mes chers binômes, merci pour tous les moments inoubliables qu'on a passés ensemble.

Et bien sûr une grande dédicace pour mes amies proches qui ont été avec moi tout le long de mon étude et leur encouragement.

SOUAD

Résumé

La salinité présente une menace sérieuse pour l'agriculture surtout dans les zones irriguées ou elle occasionne des énormes dégâts pour le sol que pour les cultures. Parmi ces cultures, le Haricot qui a un grand intérêt économique et nutritionnel vu sa richesse en protéine végétales. Travers le comportement physiologique, biochimique et phyto chimique des deux parties aérienne (nombre des feuilles et la hauteur de tige et nombre des fleurs) et souterraine (les racines) des cultivars soumises au stress salin.

Le premier effet le plus évident de ce stress, est la réduction du potentiel osmotique, entraînant une diminution de l'état hydrique foliaire de la plante, qui s'adapte en ajustant progressivement sa pression osmotique. Aussi, un effet dépressif est remarqué des paramètres physiologiques mesurés qui varient en fonction de l'intensité du stress.

Dans ce contexte, la présente étude a été menée sur les plants du haricot (*Phaseolus Vulgaris L.*), en les cultivés dans des milieux salinisés au chlorure de sodium NaCl, à des concentrations croissantes (3 g/l, 6 g/l et 9 g/l), en plus du témoin traité avec de l'eau distillée, ce qui a permis d'apporter des informations supplémentaires sur les comportements physiologiques de ces graines en réponse au stress salin stade de la cour de la germination.

Mots clés : salinité ; proline ; Haricot.

Abstract

Salinity poses a serious threat to agriculture, especially in irrigated areas where it causes enormous damage to the soil and crops. Among these crops, the Bean which has a great economic and nutritional interest due to its richness in vegetable protein. Through the physiological, biochemical and phytochemical behavior of the two aerial parts (number of leaves and flowers and stem height) and underground (roots) of cultivars subjected to salt stress. The first most obvious effect of this stress is the reduction of the osmotic potential, resulting in a decrease in the foliar water state of the plant, which adapts by gradually adjusting its osmotic pressure. Also, a depressive effect is noticed of the measured physiological parameters that vary according to the intensity of the stress

In this context, the present study was conducted on bean plants (*Phaseolus vulgaris L.*), grown in salinized environments with sodium chloride NaCl, has increasing concentrations (3 g/l, 6 g/l and 9 g/l), in addition to the control treated with distilled water, This provided additional information on the physiological behaviour of these seeds in response to the saline stress stage of the germination yard.

Keywords: salinity; proline; bean.

المخلص

تمثل الملوحة تهديدًا خطيرًا للزراعة، خاصة في المناطق المروية حيث تسبب أضرارًا جسيمة للتربة والمحاصيل. من بينها الفاصولياء التي لها فائدة اقتصادية وغذائية كبيرة نظرًا لغناها بالبروتينات النباتية. السلوك الفسيولوجي والكيميائي الحيوي والكيميائي النباتي راجع لكل من الأجزاء الهوائية (عدد الأوراق وارتفاع الساق وعدد الأزهار) والأجزاء الموجودة تحت الأرض (الجزور) من الأصناف المعرضة للملوحة.

التأثير الأول والأكثر وضوحًا لهذا الإجهاد هو تقليل قدرة النبات على امتصاص الماء ، مما يؤدي إلى انخفاض في حالة ماء الأوراق للنبات ، والذي يتكيف تعديل الضغط الاسموزي تدريجيًا، لوحظ تأثير سلبي من المعلمات الفسيولوجية المقاسة والتي تختلف حسب شدة الإجهاد; أجريت دراسة على نباتات الفاصولياء مملحة بكلوريد الصوديوم بتركيزات متزايدة (3 جم / لتر ، 6 جم / لتر و 9 جم / لتر) ، بالإضافة إلى التحكم المعالج بالماء المقطر ، وذلك لاضهار العلاقة بين تراكم البرولين وتحمل الاجهاد

الملحي

الكلمات المفتاحية: ملوحة؛ البرولين. فاصوليا

Liste des figures

Figure n° 1: Rôle de la proline dans la protection des protéines en présence de NaCl	10
Figure n° 2 : Grains de la variété DJADIDA	15
Figure n° 3 : Localisation de lieu de l'expérience.....	22
Figure n° 4 : Le pré germination des grains de haricot.....	23
Figure n° 5 : Nombre des fleurs par plantes	24
Figure n° 6 : Biomasse fraîche produite	25
Figure n° 7 : Poids frais des racines.....	25
Figure n° 8 : Chlorophylle mètre	26
Figure n° 9 : Hauteur final des plantes	29
Figure n° 10 : Les nombre des feuilles par plants.....	30
Figure n° 11 : Poid frais totale	31
Figure n° 12 : Poid sèc totale	31
Figure n° 13: Poid frais des racines.....	32
Figure n° 14: Poid sèc des racines.....	33
Figure n° 15: Nombre des feuilles	34
Figure n° 16: Taux de chlorophylle	35
Figure n° 17 : Teneur en proline.....	36

Liste des tableaux

Tableau n° 1: Evaluation des sols salins.....	6
Tableau n° 2 : valeur nutritionnelle du haricot vert en g /100 g de graines	18
Tableau n° 3 : teneurs en éléments minéraux des cendres du haricot en %	18
Tableau n°4 : Les principales maladies et les parasites du haricot vert (<i>Phaseolus vulgaris L</i>).....	20
Tableau n° 5: composition de l'eau de Blida et teneur des éléments minéraux (meq /l)..	23

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction générale

Chapitre 01 : la salinité

1	Généralité sur la salinité.....	4
2	Causes de la salinité	5
3	Mesure de la salinité	5
4	Différents types de salinité	5
5	Le stress salin	6
	<i>Halophytes et glycophytes.....</i>	<i>6</i>
6	Effets de la salinité sur les processus physiologiques de la plante	7
6.1	<i>Sur la photosynthèse</i>	<i>7</i>
6.2	<i>Sur la croissance et le développement</i>	<i>7</i>
6.3	<i>Sur les racines</i>	<i>7</i>
6.4	<i>Sur l'anatomie de la feuille</i>	<i>7</i>
6.5	<i>Les paramètres hydriques de la plante</i>	<i>8</i>
7	Mécanismes de résistance et tolérance des végétaux à la salinité.....	8
7.1	<i>Exclusion</i>	<i>8</i>
7.2	<i>Inclusion.....</i>	<i>8</i>
7.3	<i>Ré-excrétion.....</i>	<i>9</i>

8	La proline	9
8.1	<i>Définition de la proline</i>	9
8.2	<i>Accumulation de la proline</i>	9

Chapitre 02: Le haricot

1	Généralité sur le haricot.....	12
2	Origine et répartition géographique :	12
3	Classification du haricot.....	13
4	Physiologie et culture du haricot.....	13
5	Description morphologique et botanique	14
5.1	Graines.....	14
5.2	Feuilles.....	15
5.3	Racines.....	15
5.4	Tiges.....	15
5.5	Fleurs.....	15
5.6	Fruits	16
6	Phases végétatives du haricot.....	16
6.1	Phase de germination.....	16
6.2	Phase de croissance.....	16
6.3	Phase de floraison.....	17
6.4	Phase de maturation.....	17
7	Exigences du la culture haricot.....	17
7.1	Exigences climatiques.....	17
7.2	Exigence agronomique.....	17
8	Intérêt du haricot.....	18
8.1	Intérêt nutritionnel	18
8.2	Intérêt agronomique.....	18
8.3	Intérêt médical.....	19

9	Maladies et parasites du haricot	19
----------	---	-----------

Chapitre 03: Matériel et méthode

1	Objectif de l'expérience	22
2	Lieu de réalisation.....	22
3	Matériel végétal.....	22
4	Composition de différent traitement	22
5	Essai de germination.....	23
5.1	Pré germination des graines	23
5.2	Repiquage des germes.....	23
5.3	Préparation de solution saline.....	24
6	Paramètre mesures	24
6.1	Paramètre morphologique	24
6.1.1	Hauteur final des plantes	24
6.1.2	Nombre des feuilles par plante	24
6.1.3	Nombre des fleurs par plante	24
6.1.4	Biomasse fraîche produite	24
6.1.5	Biomasse sèche produite	25
6.1.6	Poid frais des parties souterraines	25
6.1.7	Poid sec des parties souterraines	26
6.1.8	Taux de Chlorophylle	26
6.1.9	Dosage de proline.....	26
7	Les analyses statistiques	27

Chapitre04: Résultats et discussion

1	Paramètres morphologiques	29
1.1	Hauteurs finale des plantes (cm)	29
1.2	Nombre des feuilles	30
1.3	Poid frais et sèc totale	31
1.4	Poid frais et sèc des racines.....	32

1.5	Nombres des fleurs	34
2	Paramètre biochimiques	35
2.1	Teneur en Chlorophylle.....	35
2.2	Teneur en proline.....	36
	Conclusion.....	37

Introduction

Introduction générale

Les contraintes abiotiques, telles que la sécheresse, la salinité et les températures extrêmes causent d'importantes pertes de récolte mondiale réduisant les rendements moyens pour la plupart des plantes cultivées de plus de 50% (BRAY *et al* , 2000).

En particulier, la salinité, de plus en plus une menace sérieuse pour l'agriculture, affecte approximativement 20% des régions agricoles irriguées. Ces régions assurent le tiers des besoins alimentaires mondiaux (MUNNS, 2002)

La sécheresse a accentué le phénomène de la salinisation des sols dans ces régions devenue un second facteur abiotique qui réduit considérablement les rendements agricoles de diverses cultures. La salinité des sols est non seulement liée aux conditions climatiques mais également aux recours souvent mal contrôlé de l'irrigation (RHOADES *et al*, 1992).

Ce phénomène s'est aussi accentué par l'usage abusif des engrais. En effet, la fertilisation et l'irrigation localisées conduisent à élever exagérément la concentration des sels dans les substrats de culture (MOUHOUCHE et BOULASSEL, 1999)

Les légumineuses en Algérie, occupent une place importante après la céréale dans l'alimentation humaine. Néanmoins, ça production reste faible, le plus souvent notre pays a recours à l'importation de ce produit afin d'atténuer ce déséquilibre, ce qui élève la facture d'importation des légumineuses évaluée à 355 millions de dollars (stat, canada, 2007). Le haricot commun est une plante glycophytes sensible à la salinité, il est considéré comme une légumineuse alimentaire fondamentale dans de nombreux pays d'Afrique centrale et orientale, Il s'agit, pour les familles de toutes ces régions, d'une source importante de protéines, de fer, de zinc, de fibres et de carbohydrates lents (Ecabren, 2005). Il représente une source d'alimentation pour plus de 100 millions d'africains et une source de revenus notables (Ecabren, 2006).

L'objectif de ce travail consiste à étudier le comportement des plantes du haricot variété El djadida soumises sous l'effet de quatre traitements salin avec des concentrations croissantes en NaCl (T1: 3g/l, T2:6g/l, et T3:9g/l) comparés avec un Témoin eau de Blida.

Pour mettre en évidence la réponse des plantes nous avons procédé à une étude de quelque paramètres morphologiques (nombres des feuilles, longueur de tige des plantes, poids sec et poids frais) et biochimiques (l'accumulation de proline et la teneur de chlorophylle).

Le travail est présenté en trois parties :

La première était une synthèse bibliographique dans laquelle sont présents les principaux travaux menés dans ce domaine.

La seconde les différentes méthodes expérimentales utilisées.

Et enfin les principaux résultats auxquels nous sommes parvenus sont évoqués.

Chapitre 1 : la salinité

1 Généralité sur la salinité

Le taux élevé de sel dans les sols ou les eaux d'irrigation est une préoccupation environnementale majeure et un problème sérieux pour l'agriculture dans les régions arides et semi-arides, comme le bassin méditerranéen. En effet, l'excès de sel dans le sol affecte la germination, la croissance des plantules et leur vigueur, la phase végétative, la floraison et la fructification à des degrés variables, conduisant à terme à des baisses de rendement et de qualité des productions (DELGADO *et al*, 1994 in Mainassara, 2009).

La présence de fortes doses de sels dans le sol surtout avec un mauvais drainage constitue un immense danger pour l'agriculture car elle conduit généralement à une dégradation des sols, une baisse de leur fertilité et elle occasionne une toxicité aux végétaux ce qui réduit le nombre d'espèces dont la culture est possible sur ces terres (OMAMI, 2005).

La salinité peut être définie comme étant un processus pédologique suivant lequel le sol s'enrichit anormalement en sels solubles acquérant ainsi le caractère salin (EILERS *et al*, 1995; GREGORY, 2005). Un sol salé est caractérisé par un surplus de sels est en particulier l'ion Na^+ dans le profile (SCHUT, 1996).

La formation d'un sol salin résulte généralement de l'accumulation de sels dans les horizons de surface (LEVY, 2000; BRADY et WEIL, 2002; ESSINGTON, 2004). Ce processus dépend essentiellement du régime hydrique du sol et des sources de sel. Lorsque le climat est chaud et sec, entraînés par les eaux capillaires suivant le flux d'évaporation, les sels sont accumulés en surface. Les sels les plus communs présents dans la solution du sol correspondent aux cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , et aux anions Cl^- , SO_4^{--} , CO_3^{--} , NO_3^- .

D'autres sels moins courants et plus toxiques à faibles concentrations sont également à considérer. Ces éléments traces sont le bore, le sélénium, l'arsenic et le molybdène (ESSINGTON 2004; GREGORY, 2005).

Les sels peuvent avoir deux origines ;

- a. une origine primaire qui dérive de l'altération de la roche mère, les sels résultants de cette altération sont entraînés dans les canaux capillaires en surface, cette action est accentuée beaucoup plus par l'aridité du milieu (ANTIPOLIS, 2003).
- b. une origine secondaire liée étroitement à l'activité humaine dont les sels proviennent soit des eaux d'irrigation en présence d'un mauvais drainage ou de l'utilisation abusive des engrais chimiques ainsi que des apports alluviaux (MASHALI *et al*, 2005).

2 Causes de la salinité

Selon (HARTANI *et al.* 2008), les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline et les pratiques culturelles sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante.

SAXENA (2006), ajoute que les principales causes de salinité sont la présence des eaux salines natives, l'irrigation par une eau saline, la remonté d'eau et l'absence de drainage, la limite des ressources en eau dans les zones arides et le manque des eaux douces pour recouvrir les besoins.

3 Mesure de la salinité

La salinité du sol est déterminée par la mesure de la conductivité électrique (CE) exprimée en décisiemens par mètre (ds/m) qui traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant. Elle est proportionnelle à la concentration des sels minéraux dissous. La salinité peut également être exprimée en gramme par litre (g/l) où $1\text{ds/m}=0,64\text{g/l}$, en millimolaire (mM) où $1\text{ds/m}=10\text{mM}$, en milliéquivalent par litre (meq/l) où $1\text{ds/m}= 10\text{meq/l}$. (MUUNS et TESTER 2008)

4 Différents types de salinité

On distingue deux types de salinité des sols salins et les sols alcalins.

- ❖ Les sols salins ont comme principale caractéristique leur richesse en sels solubles notamment des chlorures et sulfates de sodium, de magnésium, de potassium, etc. Ces sols sont généralement dominants dans les régions arides et semi-arides.
- ❖ Les sols alcalin ce sont des sols présentant des teneurs en sels alcalins (carbonates et bicarbonates) élevées et un pH est supérieur à 8,8 ce qui empêche la croissance de la plus part des plantes. Le sodium échangeable représente moins de 15% du complexe d'échange (LOZER et MATHIEU, 1990).

Tableau 1: Evaluation des sols salins

Conductivité électrique (CE) en DS/m	Evaluation des sols
CE < 2	Sols ne sont pas salés
2 < CE ≤ 4	Sols sont faiblement salés
4 < CE ≤ 8	Sols sont moyennement salés
CE > 8	Sols sont halomorphes

(INSID, 2008)

5 Le stress salin

Le stress salin peut directement ou indirectement affecter le statut physiologique des plantes en changeant leur métabolisme, leur croissance et leur développement (AJMAL KHAN, 2000 ; GARG *et al*, 2002). Il est difficile d'estimer les conséquences d'un stress salin, car il recouvre à la fois des stress hydrique, ionique et nutritionnel. Ainsi, les impacts de la salinité sur le développement et le rendement de la plante sont aussi nombreux que difficiles à hiérarchiser. Les problèmes osmotiques pourraient se produire en raison de l'accumulation des concentrations élevées de Na⁺ dans l'apoplasme des feuilles, puisque l'ion Na⁺ présent avec les éléments circulants dans le xylème, est laissé pendant que l'eau s'évapore (TESTER et DAVENPORT, 2003).

- **Halophytes et glycophytes**

Le terme halophyte (du grec «halo»: sel et «phyt(o)»: plante) définit un organisme qui vit, croit, et se reproduit naturellement dans un milieu salin alors qu'une glycophyte (du grec «glyco»: sucré) ne peut croître en milieu salin. La grande majorité des stress salins est provoquée par des sels de Na, particulièrement le NaCl. De ce fait, les termes halophytes et glycophytes font essentiellement référence aux stress provoqués par un excès de sel alors qu'une plante halophyte facultative se développera normalement dans des conditions non stressantes. A l'inverse, une plante glycophyte obligatoire ne se développera jamais en présence d'un excès de sel (LEVITT, 1980; TESTER et DAVENPORT, 2003).

- a. Certaines halophytes peuvent accumuler des quantités exagérées de NaCl dans la partie aérienne. Cette tendance est associée aux halophytes dicotylédones, ou il est utilisé comme osmoticum. Ces plantes peuvent maintenir aussi un taux élevé du rapport Na⁺/K⁺. Cela est dû au fait qu'ils stockent les ions Na⁺ dans la vacuole, et exigent relativement une faible quantité des ions K⁺ pour le métabolisme

cytosolique. Tandis que les monocotylédones peuvent avoir moins de capacités de stockage, exigent plus d'ions K^+ et des osmotocums compatibles (GLENN, 1999).

6 Effets de la salinité sur les processus physiologiques de la plante

6.1 Sur la photosynthèse

L'accumulation du sel dans la plantule peut réduire la surface foliaire photosynthétique grâce à la fermeture des stomates (FLOWERS *et al*, 1977 ; RAHMOUNE *et al*, 1997 ; BEN NACER, 2004, 2005 ; RAHMOUNE, 2005 in Lemzeri, 2007). La réduction de l'assimilation du carbone par suite de la réduction de la surface foliaire provoque un maintien accru de la respiration (HOPKINS, 2003).

6.2 Sur la croissance et le développement

La tolérance d'une culture à la salinité est une valeur relative basée sur les conditions de croissance de cette culture, la résistance au sel dépend de la complexité anatomique et physiologique de la plante (ZHU, 2001). Le NaCl peut augmenter la croissance et le développement des plantes mais un certain taux. Le sel peut nuire et endommager la croissance et le développement des plantes à cause du changement du potentiel osmotique, du déséquilibre ionique et de la toxicité ionique dans les cellules. (ZHU, 2001).

En présence des conditions salines, une diminution dans la croissance de l'appareil végétatif aérien et une stimulation du développement racinaire ont été observées. Des irrigations avec une eau contenant 8 g/l de sel provoque une réduction de la biomasse aérienne (hauteur et surface foliaire) chez le blé (M'BAREK *et al*, 2001).

6.3 Sur les racines

Les racines sont les premiers organes confrontés à l'augmentation du sel. Il a été observé que des concentrations importantes de polypeptides appelés osmotines, s'accumulent dans les plantes au niveau des vacuoles de cellules de tabac soumises à des doses élevées de sel (SINGH *et al*, 1987).

6.4 Sur l'anatomie de la feuille

La salinité provoque de nombreux changements anatomiques de la feuille chez un certain nombre de plantes. Les feuilles du haricot, le coton et l'Atriplex discernent une augmentation de l'épaisseur épidermique, l'épaisseur mésophyllienne, la longueur de cellules palissadiques,

les diamètres de la palissade et des cellules spongieuses suite à l'augmentation de la salinité (LONGSTRETH et NOBLE, 1979).

En revanche, l'épaisseur épidermique et mésophyllienne et les espèces intercellulaires ont diminué sensiblement dans les feuilles de *Brugueira parviflora* traitées par NaCl (PARIDA *et al*, 2004).

La salinité réduit les espaces intercellulaires chez les feuilles des épinards (DELFINE *et al*, 1998) tandis que chez les plantes de tomate, une réduction de la densité stomatique s'est produite (ROMEROARANDA *et al*, 2001).

6.5 Les paramètres hydriques de la plante

Le paramètre hydrique de la plante est un facteur qui détermine l'activité métabolique et la survie des feuilles. La réduction de la teneur relative en eau entraîne une faible disponibilité de l'eau pour l'extension cellulaire (FARISSI *et al*, 2014). Les potentiels hydriques et osmotiques des plantes deviennent plus négatifs avec l'augmentation de la salinité. Le stress salin réduit la teneur en eau, le contenu relatif en eau et le potentiel hydrique chez les légumineuses telles que *Phaseolus vulgaris L.* (SNOUSSI *et al*, 2004).

7 Mécanismes de résistance et tolérance des végétaux à la salinité

La tolérance d'une plante à la salinité est définie par son aptitude à se développer normalement en conditions salines. Le degré de tolérance dépend surtout du stade physiologique de la plante. En général, les plantes sont plus sensibles au stade germination et émergence. Le degré de sensibilité diminue ensuite avec l'âge (REGRAGUI, 2005).

Chez les plantes non tolérante au NaCl, le Na⁺ s'accumule dans les racines mais il est exclu des feuilles, ces plantes sont dites (excluser). A l'inverse, les plantes tolérantes au NaCl sont dites (incluser) car elles ont en générale des feuilles plus chargées en Na⁺ que les racines, lorsqu'elles sont cultivées en présence de sel (HAOULA *et al*, 2007).

7.1 Exclusion

La plante empêche le sel de remonter par la sève jusqu'aux feuilles. La présence de l'endoderme dans les racines, ainsi que le transport sélectif leur permet d'absorber les ions nutritifs utiles et de ré-excréter les ions Na⁺ (GENOUX *et al*, 1991).

7.2 Inclusion

La plante retient le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux

(BERTHOMIEU *et al*, 2003), ou excrétée par des glandes vers l'extérieur (ALEM et AMRI, 2005).

L'excrétion dans les glandes à sel est très spécifique, d'abord Na⁺, Cl⁻ et HCO₃⁻ sont excrétés contre le gradient de concentration, alors que des ions comme Ca⁺⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻ et H₂PO₄⁻ sont maintenus contre leur gradient (HOPKINS, 2003).

7.3 Ré-excrétion

La plante a la capacité de ré excrétion aussitôt l'excès du sel parvenu jusqu'aux feuilles vers ses racines par l'intermédiaire de la sève élaborée descendante par le phloème. Les racines peuvent ensuite ré excréter le sel à l'extérieur et l'éliminer vers le sol (BERTHOMIEU *et al*, 2003).

8 LA proline

8.1 Définition de la proline

La proline est un acide aminé de formule brute (NH₈C₅O₂), il possède un groupement azoté sous la forme d'une amine secondaire et comporte un radical NH au lieu de radical NH₂. C'est un corps blanc très soluble dans l'eau et dans l'éthanol, il est facilement oxydé par la ninhydrine. Son PH = 6,30 et sa masse moléculaire est égale à 115,13g/mol. (AKRIB *et al*, 2006). C'est un acide aminé qui peut s'accumuler sous l'action d'un stress hydrique, salin ou thermique (MORSLI, 2010).

8.2 Accumulation de la proline

Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente l'une des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques. Son rôle d'osmotique a été rapporté par de nombreux auteurs.

L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut- être le résultat de trois processus complémentaires: stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines [RHODES et HANSON, (1993) in Jabnoue, (2008). (Figure n°1)

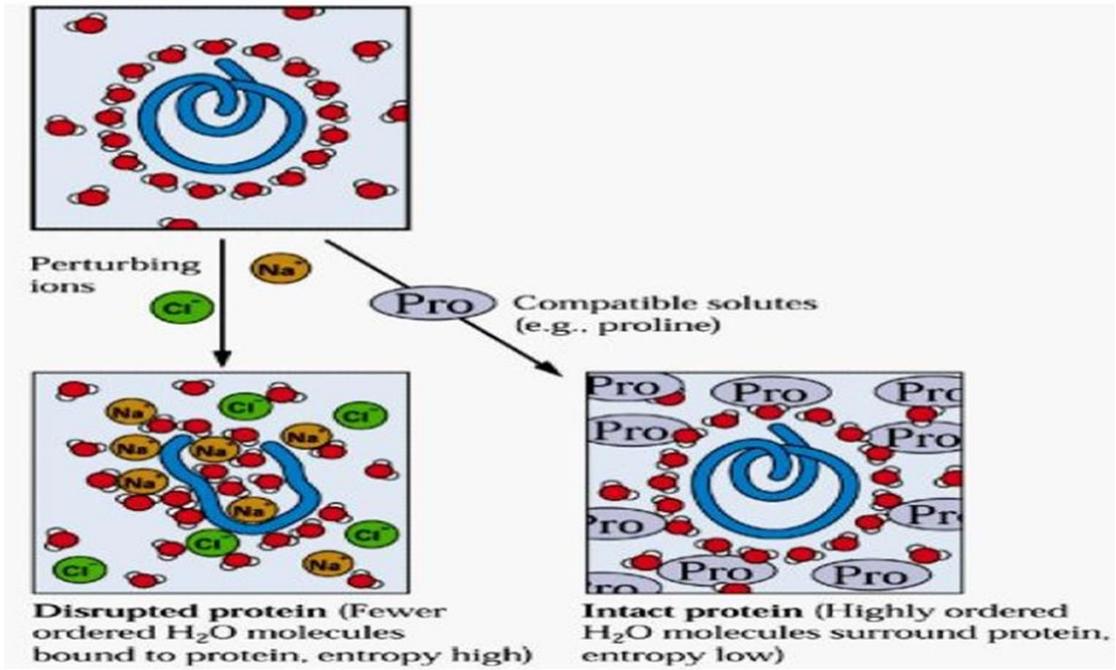


Figure n° 1: Rôle de la proline dans la protection des protéines en présence de NaCl [Rhodes et HANSON,(1993) in Jabnoue,(2008)]

Chapitre 2 : le haricot

1 Généralité sur le haricot

Les légumineuses sont cultivées principalement comme source des protéines pour la consommation humaine (haricot, pois, fève,...) ou l'alimentation animale (soja, luzerne, féverole,.....). Les légumineuses à graines restent toujours une part importante de l'alimentation particulièrement dans les pays en développement où elles sont la principale source de protéines pour l'homme (BROUGHTON, 2003;KANGFU, 2011) ; sont considérées comme la deuxième source alimentaire la plus importante après les céréales (Kouris-Blazos et al. 2016). Elles sont très appréciées en raison de leur faible teneur en matières grasses et leur richesse en protéines (20 à 45%) avec des acides aminés essentiels, des glucides complexes (\pm 60%), des fibres alimentaires (5 à 37%), des minéraux et des vitamines essentiels (MAPHOSA et JIDEANI, 2017). Les légumineuses ont obtenu la nomination de viande maigre pour les pauvres (IRAD, 2013) et leur incorporation dans les régimes alimentaires, en particulier dans les pays en développement, pourrait jouer un rôle majeur dans l'éradication de la malnutrition (MAPHOSA et JIDEANI, 2017).

Le haricot vert (*Phaseolus vulgaris*) est originaire du Pérou et a été introduit en Europe par les espagnols autour du 16ème siècle ensuite dans le monde entier par les commerçants espagnols et portugais. Actuellement, les plus grands producteurs commerciaux des haricots verts frais comprennent : les États-Unis, France, Mexique, Philippines et la Turquie. (FAO, 2017). Digestibles, faibles en calories et riches en vitamines ce sont les vertus réelles des haricots verts. En Algérie, le haricot occupe une part importante parmi les aliments les plus consommables la surface totale réservée à sa culture uniquement pour l'année 2016 est de l'ordre de 4061 ha avec une production totale de 139587,13 de tonnes calculée sur la base d'un rendement moyen de 343,73 qx/ha (FAO Stat, 2016).

2 Origine et répartition géographique :

L'origine du haricot commun, *p.vulgaris* L .est *p. vulgaris* ssp (DIETRICH et WILLIAM, 2005).le haricot a été domestiqué en Amérique centrale (Mexique et Guatemala) et en Amérique de sud (principalement le Pérou) il y'a plus de 9700 ans. Des graines sèches furent introduites et semées au XVIe siècle en Europe puis, sa culture s'est rapidement diffusée dans les zones méditerranéennes et subtropicales (PERON, 2006).

La distribution géographique du haricot dans les zones très diversifiées, tant du point de vue climatique que des points de vue pédoclimatique. De nos jours, il a une importance considérable, en particulier en Amérique du sud et en Afrique.

Le haricot commun est produit principalement en Amérique Latine et en Afrique ; il est répandu surtout dans la zone Amazonienne du Brésil, dans les cordillères des Andes et en Amérique Centrale, tandis qu'en Afrique, il est produit principalement en Afrique Centrale et Orientale (NYABYENDA ,2005).

3 Classification du haricot

Selon l'APG

Classification classique

Règne : Plantae.

Sous-règne : Tracheobionta.

Division : Magnoliophyta.

Classe : Magnoliopsida.

Sous -classe : Rosidae.

Ordre : Fabale.

Famille : Fabaceae.

Espèce : *Phaseolus vulgaris*.

Classification phylogénétique

Clade : Angiospermes

Clade : Dicotylédones vraies.

Clade : Rosidées.

Clade : Fabidées.

Ordre : Fabale.

Famille : Fabaceae.

Espèce : *Phaseolus vulgaris*.

4 Physiologie et culture du haricot

Le haricot est une plante à croissance indéterminée et reproduction autogame. Il existe plus de 1200 variétés commerciales inscrites au catalogue européen des espèces cultivées. Il s'agit principalement de lignées pures sélectionnées selon des objectifs de rendements, de résistance à certaines maladies (anthracoses) ou de groupement de la production (PITRAT et FOURY, 2003). Ces variétés modernes ne sont pas adaptées aux conditions de culture en agriculture biologique et paysanne (CHABLE et BERTHELLOT, 2006), mais des artisans-semenciers continuent de produire et commercialiser à petite échelle des semences de haricot de pays, à destination de maraîchers pratiquant la vente locale.

Le haricot est une culture d'été à cycle court ; Le semis intervient à partir de début mai sous climats océanique et méditerranéen, lorsque la température du sol avoisine les 12°C. La culture ne nécessite aucune intervention particulière en agriculture biologique, si ce n'est des opérations de désherbage. La récolte de haricots verts a lieu 60 jours après le semis. Il faut

compter 90 jours pour des haricots à écosser demi-secs, et enfin 120 jours pour des haricots secs. Les rendements moyens en France en 2012 étaient de 2,05 t/ha de haricot sec et 15 t/ha de haricot vert. En agriculture biologique, les rendements sont de l'ordre de 2 à 3 tonnes/ha suivant les régions et les années pour des variétés de haricots à écosser (FRAB MIDI-PYRENEES, 2012). Les principaux facteurs affectant la production sont la sécheresse et deux maladies : l'antracnose et la graisse du haricot. En Bretagne, en raison des températures relativement douces au printemps et en été, il est peu fréquent d'observer des cas extrêmes d'antracnose.

5 Description morphologique et botanique

Le haricot est une plante herbacée annuelle à croissance déterminée ou indéterminée. A la germination, la plante est généralement à racine pivotante mais qui forme après des racines secondaires longues de 10 à 15 cm se développant sur toute la racine principale (Ndèye, 2002). Les feuilles sont trifoliolées, ovales, vertes, de 10 à 12 cm de long environ, terminées chacune par une pointe (Bell, 1994.). Elles possèdent des nervures bien visibles. Les fleurs sont réunies en inflorescence en grappes axillaires et terminales. Elles sont zygomorphes composées de deux pétales en carène, deux pétales latéraux ailés et un pétale standard disposé extérieurement (Ndèye, 2002). Les Graines sont soit sphériques, soit cylindriques selon les variétés, et sont très diversement colorées en blanc, vert, rouge, violet, noir, brun ,ou même bicolores ou tachetées. Chaque graine possède un hile elliptique, petit, surmonté par le micropyle. Elles sont plus ou moins grosses selon les variétés. La faculté germinative dure de 3 à 5 ans (Monnet et al, 1999).

5.1 Graines

Elles sont soit sphériques, soit cylindriques selon les variétés, et sont très diversement colorées : en blanc, vert, rouge, violet, noir, brun ... ou même bicolores ou tachetées. Chaque graine possède un hile elliptique, petit, surmonté par le micropyle. Elles sont plus ou moins grosses selon les variétés. La faculté germinative dure de 3 à 5ans (MONNET et al, 1999).



Figure n°2 : Grains de la variété DJADIDA

5.2 Feuilles

Les premières feuilles, au nombre de deux, sont simples. Les suivantes sont formées de trois folioles ovales, vertes, de 10 à 12 cm de long environ, terminées chacune par une pointe (BELL, 1994). Elles possèdent des nervures bien visibles. Ces folioles s'insèrent sur un pétiole commun de 12 cm de long environ, par l'intermédiaire de pétiolules de 3 à 4 mm de long. A la base de ces pétiolules, on trouve deux stipelles très courtes. A la base du pétiole, on distingue une petite gaine et deux stipules de forme ovale ayant 4mm de long environ (HUBERT 1978).

5.3 Racines

Système racinaire pivotant et profond qui peut descendre jusqu'à 1,20m. On trouve le plus grand nombre de racines entre 0,20m et 0,25m de profondeur, sur un diamètre de 0,50m autour de la tige. Des nodosités peuvent se former sur les radicelles, mais on ne peut pas considérer le haricot comme une plante enrichissant le sol en azote car il demeure trop peu de temps en terre (HUBERT 1978).

5.4 Tiges

Elles sont plus ou moins longues suivant les variétés: Les grandes tiges peuvent atteindre 2 à 3 m de long ; c'est le " haricot à rames et les tiges courtes ne dépassent guère 30 à 40 cm de longueur et le haricot ayant de telles tiges est appelé " haricot nain " (DUPONT et GUIGNARD, 1989).

5.5 Fleurs

Elles sont du type papilionacé, et comprennent : 5 sépales, 2 pétales, 9 étamines soudées Par leur base et une étamine libre, un ovaire, une loge renfermant 4 à 8 ovules, surmonté par un style portant un stigmate (PREVOST, 1999).

Mais chez le haricot, il y a quelques particularités : Le calice a sur la lèvre supérieure 2 dents courtes très rapprochées, l'étendard a environ 2 fois la longueur des ailes, la carène est tordue, les deux pétales forment la carène et entourant les étamines et le pistil facilitent la fécondation croisée.

Selon BELL (1994), le taux de fécondation croisée varie avec l'importance de l'activité des insectes compris entre 2 et 80%. La fécondation s'effectue surtout la nuit. Chaque fleur a 2 cm de long environ et de couleur très variée : blanche, rose, rouge, violette, jaunâtre ou même bicolore.

5.6 Fruits

Selon HUBERT (1978), ce sont des gousses allongées, généralement droites, plus ou moins longues et terminées par une pointe. Leur largeur varie de 8 à 25 mm. Elles renferment en moyenne 4 à 8 graines. Dans les parois de la gousse, appelée cosse, les faisceaux libéro-ligneux sont plus ou moins développés. S'ils sont très développés, on les appelle les "fils", et les gousses sont alors impropres à la consommation en vert. On dit que les gousses sont parcheminées lorsqu'elles possèdent 3 à 4 couches de fibres obliques, par rapport à la nervure dorsale, dans leur paroi. Les cosses représentent 40 à 45% du poids des gousses. Les jeunes gousses sont vertes mais leur couleur va se modifier au cours de la maturation.

6 Phases végétatives de haricot

6.1 Phase de germination

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

6.2 Phase de croissance

Trois à quatre jours après la levée, les cotylédons commencent à se faner. 5 à 6 jours après la levée apparaissent la première feuille trifoliolée, 5 à 6 jours après l'apparition de la première feuille trifoliolée apparaissent la deuxième. Au bout d'un mois, le pied du haricot possède une dizaine de feuilles trifoliolées et il a atteint sa hauteur définitive de 30 à 40 cm pour les variétés naines (Dupont et Guignard, 1989).

6.3 Phase de floraison

Elle débute 3 semaines à 1 mois environ après le semis. Elle dure 1 mois à 1 mois et demi suivant les conditions climatiques. La jeune gousse met une douzaine de jours environ pour atteindre sa taille définitive (LECOMTE, 1997).

6.4 Phase de maturation

LECOMTE (1997), affirme qu'une fois la taille définitive atteinte, les graines se forment en 15 à 20 jours. Il faut attendre encore 20 à 30 jours pour que les gousses s'ouvrent d'elles-mêmes, les graines étant mûres.

Le cycle végétatif complet du haricot est en moyenne de 75 à 80 jours pour le haricot vert, 90 à 100 jours pour le haricot demi-sec et de 120 à 130 jours pour le haricot sec.

7 Exigences du la culture haricot

7.1 Exigences climatiques

Le haricot (*P. vulgaris*) est une plante sensible à la compaction, au gel, de même qu'aux excès d'eau et de température. C'est une légumineuse de saison chaude qui se porte mieux dans des conditions subtropicales et tempérées. Il peut être trouvé dans les zones tropicales mais ne supporte pas trop les conditions humides car elles provoquent des attaques fongiques et la chute des fleurs. D'autre part, le haricot aime les apports réguliers en eau et craint les excès qui limitent son développement et peuvent induire des maladies en affaiblissant son système racinaire. La température optimale de croissance de haricot varie de 15 à 25 °C. En effet, les fleurs avortent lorsque la température excède 30 °C (Silva et al. 2020). Le haricot a également une légère tolérance au gel mais la croissance s'arrête en dessous de 10 °C et le gel entrave le rendement à différents stades de croissance (Smoliak et al, 1990; Wortmann, 2006).

7.2 Exigence agronomique

Il demande un sol se réchauffant vite, à bonne structure et riche en humus. PH : 5,5 à 6. Les terres lourdes, humides et les terres sensibles à la sécheresse ne conviennent pas. Les sols les

mieux indiqués sont ceux à caractère argilo-siliceux. Eviter les engrais chlorés (HUBERT 1978).

8 Intérêt du haricot

8.1 Intérêt nutritionnel

Les légumineuses à graines fournissent des graines riches en protéines (20 à 25 %) soit deux fois plus que les céréales (Soltner, 2003). Cette richesse permet de compenser en partie, le déficit en protéines animales dans les pays tropicaux et en voie de développement (Broget ; 1989). Le haricot apporte une foule d'éléments nutritifs : protéines ; vitamines A ; B9 et C ; phosphore ; silice ; calcium (Borel ; 1997). La valeur nutritionnelle est mentionnée dans le tableau suivant :

Tableau n° 2 : valeur nutritionnelle du haricot vert en g /100 g de graines

Composant Variété	Protéines	Lipides	Glucides	Fibres	Sels minéraux	Calories
Phaseolus vulgaris.	20-27	1-2	60-65	4-5	4-5	431

Source : Borget ;(1989)

La composition en éléments minéraux est donnée par le tableau suivant :

Tableau n° 3 : teneurs en éléments minéraux des cendres du haricot en %

Eléments	K	P	Ca
%	1,2 - 1,9	0,41 - 0,5	0,1 - 0,2

Source : Chauv et Foury, (1994)

8.2 Intérêt agronomique

Les légumineuses sont d'un grand intérêt agronomique comme précédent cultural. Dans les systèmes céréales –légumineuses, les précédents légumineux peuvent augmenter les rendements de la céréale subséquente de 35 à 50 % (Peoples et Crasswell ; 1992).

Les légumineuses prennent généralement plus de la moitié de leurs besoins en azote dans l'atmosphère (Peoples et al ; 1995). Elles prélèvent alors moins d'azote et le concentrent plus que les autres plantes non fixatrices. Selon (Danso.; 1995) l'azote de la fixation symbiotique a une contribution plus importante pour la croissance des plantes comparativement aux engrais azotés appliqués dans l'agriculture des pays en développement. L'azote fixe dans l'atmosphère contribue pour 50% à 60% du N₂ des légumineuses à graines ; 55 à 60% du N₂

des arbres fixateurs d'azotes ; 70 à 80% du N des légumineuses fourragères (Danso;1995). L'effet bénéfique des légumineuses ne se limitant pas seulement à l'azote organique recycle par les résidus des légumineuses ; elles améliorent également l'absorption de l'azote provenant de l'engrais.

8.3 Intérêt médical

Des recherches médicales montrent que les haricots secs offrent des aliments riches en éléments nutritifs. En effet, une portion de 1/3 de tasse de haricots secs cuits fournit environ 80 calories. Les haricots offrent toutefois une valeur d'indice glycémique faible. Autrement dit, les glucides des haricots ne provoquent pas une augmentation aussi rapide du taux de sucre dans le sang que plusieurs autres aliments riches en glucides. Les haricots sont également une bonne source de vitamines B, y compris l'acide folique. Les haricots fournissent aussi les minéraux suivants : le fer, le potassium, le sélénium, le magnésium et même un peu de calcium. Les haricots secs sont aussi de bonnes sources de fibres insolubles, ce qui favorise la santé de l'appareil digestif et soulage la constipation. Les haricots fournissent également des fibres solubles, ce qui peut contribuer à réduire le niveau de lipides dans le sang. Les haricots ne contiennent que de très peu des acides gras et pas de cholestérol du tout. (ANONYME, 2007). Le haricot commun (*Phaseolus vulgaris*) est l'une des cultures des fabaceae végétales les plus importantes et est classé comme une plante sensible au sel (MAAS et al, 1977). Les légumineuses alimentaires, y compris les haricots, constituent une composante importante des secteurs agricoles des pays en développement en raison de leur capacité à produire de grandes quantités de graines riches en protéines pour la nutrition humaine.

9 Maladies et parasites du haricot

Les maladies et les parasites qui peuvent se développer sur le haricot durant la période du cycle végétatif dans le tableau suivant :

Organes attaques et symptômes	Parasites Ou maladies	Traitements /observation/produites /conseille
La mouche de semis ronge les cotylédons et détruit le bourgeon central	Mouche des semis	Avant le semis Traitement préventif des sols par un insecticide

Feuilles décolorées, couvertes de petits points blancs, présence d'acariens à la face inférieure	Tétranyques (araignées jaunes)	Pulvériser avec un anti araignées et jaunes
Colonies de pucerons noirs ou verts	Pucerons	Ils transmettent de graves viroses. pulvérisés : insecticide liquide dès leur apparition
Feuilles portant des taches suivant les nervures, taches circulaires sur les gousses	Anthraxose	Effectuez trois traitements préventifs à partir de l'apparition des 1er feuilles jusqu'après la floraison avec : maladies et pourritures
Postules brunes sous et sur les feuilles.	Rouille	Traitez préventivement les cultures tardives : MALADIES et pourritures
Feuilles et gousses portant des taches huileuses qui se nécrosent	Graisse	Maladies bactériennes, pulvérisés préventivement : bouillie bordelaise
Pourriture grise avec feutrage grisâtre sur les gousses	Botrytis	Favorise par les conditions humides et un grand développement de la végétation ; pulvériser : maladies et pourritures

(CHAUX et FOURY .1995)

Tableau n°4 : Les principales maladies et les parasites du haricot vert (*Phaseolus vulgaris L*)

Chapitre 3 :

Matériel et méthode

1 Objectif de l'expérience

Notre travail consiste à l'étude de l'effet de stress salin sur le comportement et la croissance des plantules de haricot. Cette expérimentation permet de tester la capacité de *Phaseolus vulgaris L.* à l'accumulation de la proline et la tolérance de stress salin.

2 Lieu de réalisation

Notre expérimentation a été menée à la serre des cultures maraichères, située dans le département de Biotechnologie et Agro-Écologie, faculté des sciences de la Nature et de la vie, Université Blida 1, Sa surface est de 381m². L'orientation de cette serre est de nord-sud dont l'aération est assurée par des fenêtres placées latéralement de part et d'autre et chauffée en hiver grâce à des radiateurs à eau chaud installés.



Figure n°3 : Localisation de lieu de l'expérience

3 Matériel végétal

L'espèce étudiée dans notre expérimentation est le haricot vert (*Phaseolus vulgaris L.*) variété El-Jadida c'est une espèce sensible à la salinité, cette espèce a été choisie parce qu'elle présente des réactions rapides aux changements de milieu et très rapide de germination.

4 Composition de différents traitements

Les différents traitements se présentent comme suit :

- Le témoin T0 : Eau de robinet (de Blida) 0 g/l de NaCl

- T1 : 3g /l du Nacl
- T2 : 6 g /l du Nacl
- T3 : 9 g /l du Nacl

5 Essai de germination

5.1 Pré germination des graines

A été réalisée le 20/03/2022, les graines ont été mise dans une navire contenant du papier buvard d'eau à raison de 50 graines (10 graines par boîte de pétri fois 05 répétitions) ces dernières ont été placées dans une température ambiante. La faculté germinative était de 85 %.



Figure n° 4 : le pré germination des grains de haricot

5.2 Repiquage des germes

Après la germination des graines, un repiquage des germes de haricot en place définitive a été réalisé le 24/03/2022 à raison de deux germes par pots. Ces derniers ont été arrosés avec l'eau de robinet jusqu'à ce que les vraies feuilles apparaissent, après ce stade les jeunes plantules du haricot sont irriguées avec les solutions salines.

Tableau n° 4: composition de l'eau de Blida et teneur des éléments minéraux (meq /l).

Elément	K+	Ca ⁺⁺	Na+	Mg ⁺⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	CL ⁻	HCO ₃ ⁻	Total
Teneur en mg/l	00	56,00	29,90	21,60	21,70	38,40	21	248,88	433,90
Teneur en meq/l	00	2,80	1,30	1,80	0,35	0,80	0,60	4,08	11,7

(SNOUSSI, 2001)

5.3 Préparation de solution saline

Après avoir assuré de la disponibilité de toute matérielle de laboratoire (balance, bécher) nécessaire à notre expérimentation, et on a commencé par préparer les solutions salines à partir NaCl.

6 Paramètre mesures

6.1 Paramètre morphologique

6.1.1 Hauteur final des plantes

Les hauteurs étaient mesurées en centimètre (cm) du collet jusqu'à l'apex au moment de chaque coupe à l'aide d'une règle graduée.

6.1.2 Nombre des feuilles par plante

Ce comptage est réalisé au niveau de chaque plante au moment de la coupe.

6.1.3 Nombre des fleurs par plante

Ce comptage a été effectué sur l'ensemble des plantes au moment de la floraison.



Figure n° 5 : nombre des fleurs par plantes

6.1.4 Biomasse fraîche produite

C'est un paramètre qui consiste à peser les différents organes de la plante en gramme (g) pour toutes les plantes de l'expérience, à l'aide d'une balance. Les pesées ont porté sur :

- Poids frais total : (tiges + feuilles) en g.
- Poids frais des tiges en g.
- Poids frais des feuilles en g.



Figure n°6 : Biomasse fraîche produite

6.1.5 Biomasse sèche produite

La biomasse sèche a été mesurée après le dessèchement total des tiges, des feuilles et des racines de toutes les plantes dans une étuve à 75c° jusqu'à la stabilité du poids sec.

- Poids sec des feuilles en g.
- Poids sec des tiges en g.
- Taux de matière sèche des tiges en%.
- Taux de matière sèche total (feuilles + tiges) en%.

6.1.6 Poids frais des parties souterraines

Ont été prélevées de toutes les concentrations de NaCl, puis on a procédé à séparer les partie aériennes et souterraines rincer les racines avec un jet d'eau et leur masse a été déterminée à partir du matériau frais.



Figure n°7 : poids frais des racines

6.1.7 Poids sec des parties souterraines

Les organes des plantes d'haricot utilisés pour déterminer les poids frais des parties souterraines pour les différentes variétés ont été placés dans l'étude à 105° pendant 48h pour déterminer le poids sec.

6.1.8 Taux de Chlorophylle

On a mesuré le taux de chlorophylle dans les feuilles médiane par chaque traitement par l'appareille chlorophylle mètre.



Figure n°8 : Chlorophylle mètre

6.1.9 Dosage de proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par (MONNEVEUX ET NEMMA, 1986). Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrie. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de la proline dans l'échantillon. La méthode consiste à :

- Mettre 100mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai
- Ajouter 2ml de Méthanol à 40 %. Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à l'ébullition au bain-marie à 85 °C pendant 60 min. Après refroidissement.
- Prélever 1 ml de la solution de chaque tube
- Mettre dans des nouveaux tubes
- Ajouter 1 ml d'acide acétique + 25mg de ninhydrine. + 1 ml d'un mélange contenant : 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide ortho phosphorique
- Porter les tubes à essai à ébullition au bain Marie durant 30 min.

- après refroidissement des solutions :
- Ajouter 5 ml de toluène dans chaque tube.
- Après agitation au vortex deux phases apparaissent.
- Prélever la phase supérieure
- Ajouter 5 mg du sulfate de sodium
- Laisser au repos pendant 48h.
- On procède à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre (UV) à la longueur d'onde de 528nm.
- La détermination de la teneur de la proline est réalisée selon la formule :
$$\text{Proline } (\mu\text{g/g MF}) = \text{DO}_{528} \times 0.62$$

7 Les analyses statistiques

Les données obtenues sont soumises à une analyse de la variance à un facteur étudié. Les moyennes sont comparées selon la méthode de Newman et Keuls qui est basée sur la plus petite valeur significative, réalisés par le logiciel XLSTAT.

Chapitre 4:

Résultats et discussions

1 Paramètres morphologiques

1.1 Hauteurs finale des plantes (cm)

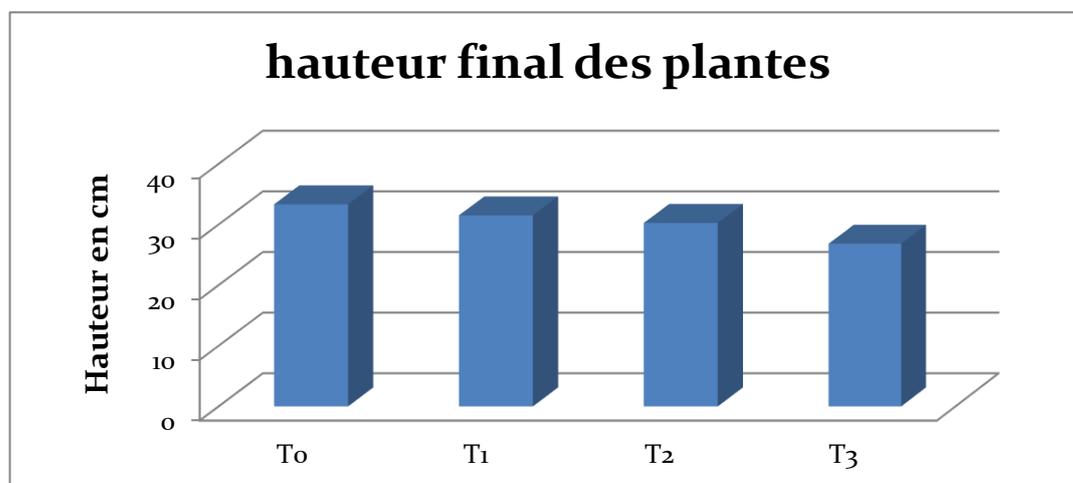


Figure n°9 : Hauteur final des plantes

L'analyse de la variance a révélé une différence non significative ($P < 0,005$) du facteur traitement sur le nombre des hauteurs final des tiges. Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% montre l'existence de deux groupes homogènes (annexe 01).

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une diminution de la hauteur des plantes au niveau des traitements par rapport au traitement témoin. La hauteur la plus élevée a été enregistrée au niveau du témoin T0 suivie par les traitements (T1, T2, T3) respectivement. Les faibles hauteurs (T2, T3) peuvent être expliquées par l'augmentation de concentration de sel NaCl dans les solutions provoquant une réduction de la division et des allongements cellulaires et par conséquent une diminution de la longueur de la tige. IMALET(1979), montre que la composition chimique des solutions en sel nocifs tel que le NaCl dans les effets nocifs provoquant les symptômes de nanisme et une diminution de la croissance de l'eau fortes concentration des sels .HELA et al (2008), qui confirme que la salinité se manifeste par la réduction de la taille des plantes.

1.2 Nombre des feuilles

Les résultats des nombres des feuilles par plantes est présentes dans la figure suivante.

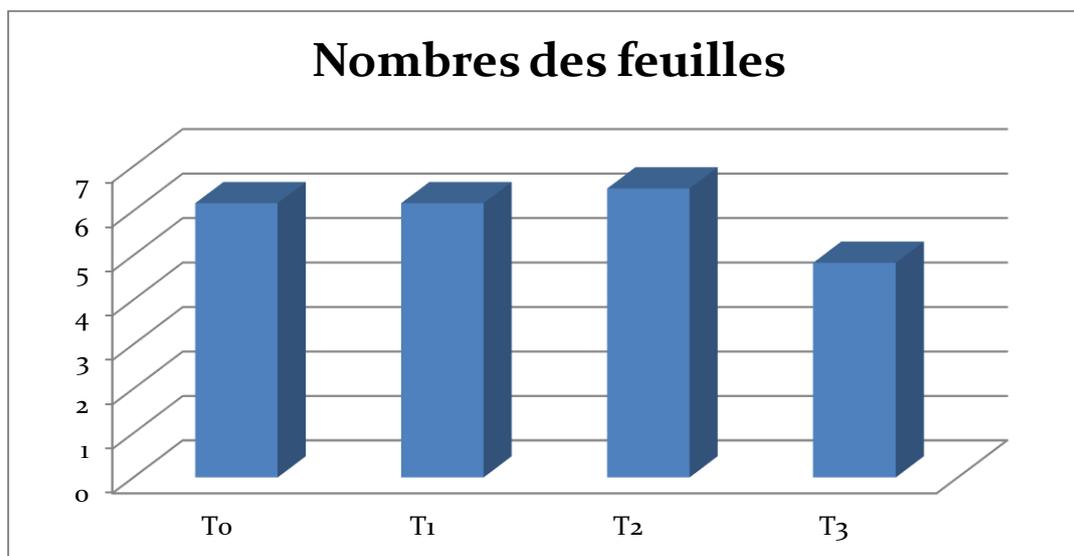


Figure n°10 : les nombre des feuilles par plants

L'analyse de la variance a révélé une différence non significative ($P < 0,005$) du facteur traitement sur le nombre des feuilles. Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% montre l'existence d'un groupes homogènes (annexe 02).

Selon les résultats obtenus, le nombre de feuille le plus élevé est obtenu chez les plantes irriguées avec l'eau de Blida enrichie en NaCl d'un concentration 6g /l (T2),suivi par témoin (T0),le traitement (T1),et enfin le traitement (T3) maximum 4 feuille . Ce résultat confirme le travail de LEVIGNERON et al LEVIGNERON et al (1995), qui ont montré que l'effet de la salinité sur la croissance des plantes est la réduction de nombre des feuilles.

1.3 Poid frais et sèc totale

Les résultats du poid frais et sèc totale de la plante de haricot sont présents au niveau de figure suivante.

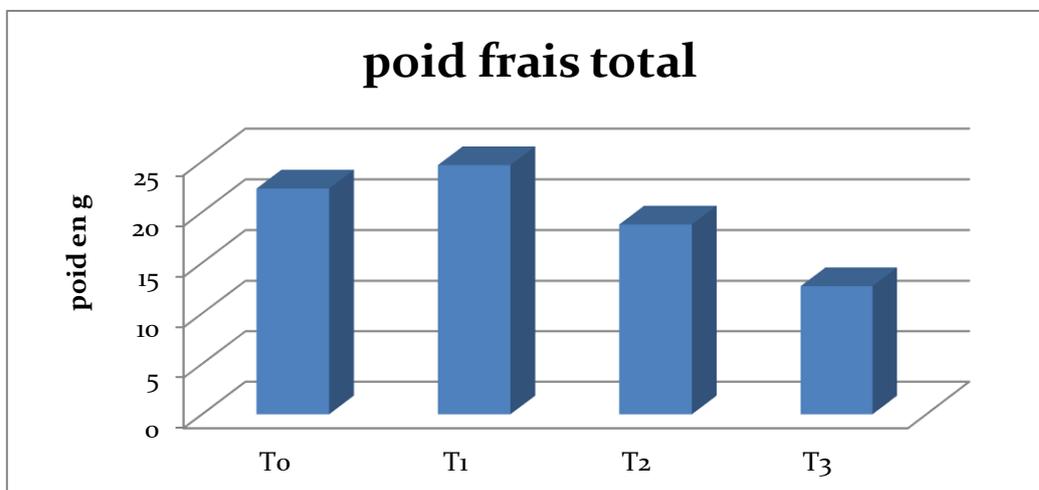


Figure n°11 : Poid frais totale

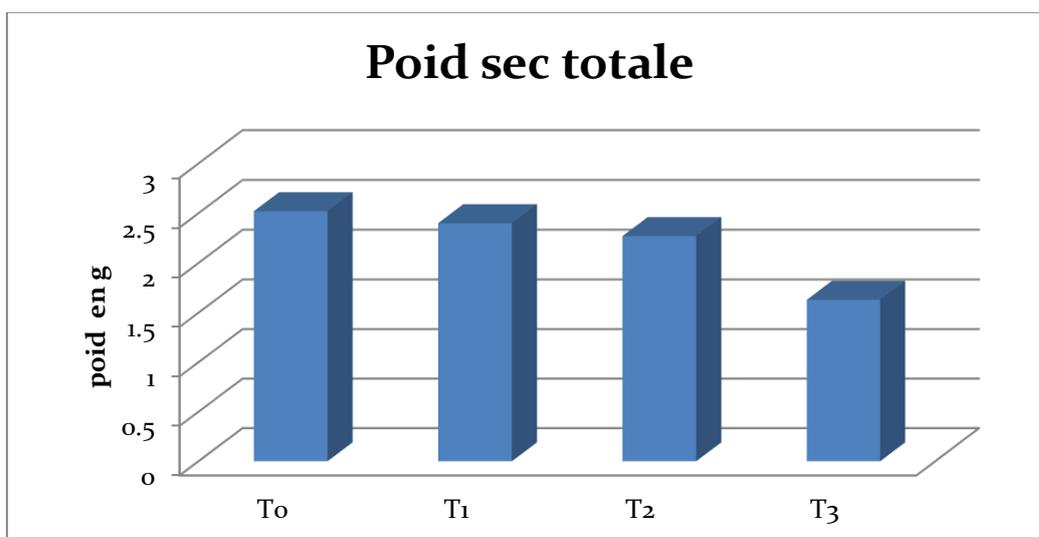


Figure n°12 : poid sèc totale

L'analyse de la variance a révélé une différence non significative ($P < 0,005$) du facteur traitement sur le poid frais et sèc totale. Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% montre l'existence de quatre groupes homogènes pour le poids frais et deux groupes homogènes pour le poid sèc totale (annexe 03 et 04).

Les résultats montrent que le niveau des trois traitements d'essai (T1, T2, T3) varie selon l'apport au témoin T0.

. Le poids frais de (T0 et T1) est élevé, et le (T2) présente une position intermédiaire et le (T3) irriguée par la production de la biomasse fraîche et sèche des plantes de haricot ont montrés des réponses une forte concentration de NaCl a répondu par une production de poids frais très faible. BENMAHIOUL et al (2009), ajoutent que, les feuilles sont les tissus les plus sensibles de la plante à la salinité.

KHECHAI(2001), les ions de sodium et de chlorures peuvent être absorbés par les racines et s'accumuler dans les feuilles des lors, ces ions peuvent provoquer les brûlures et les jaunissements prématurés des feuilles.

1.4 Poids frais et sec des racines

Les résultats de la biomasse fraîche et sèche des racines obtenus sont illustrés dans les figures suivantes.

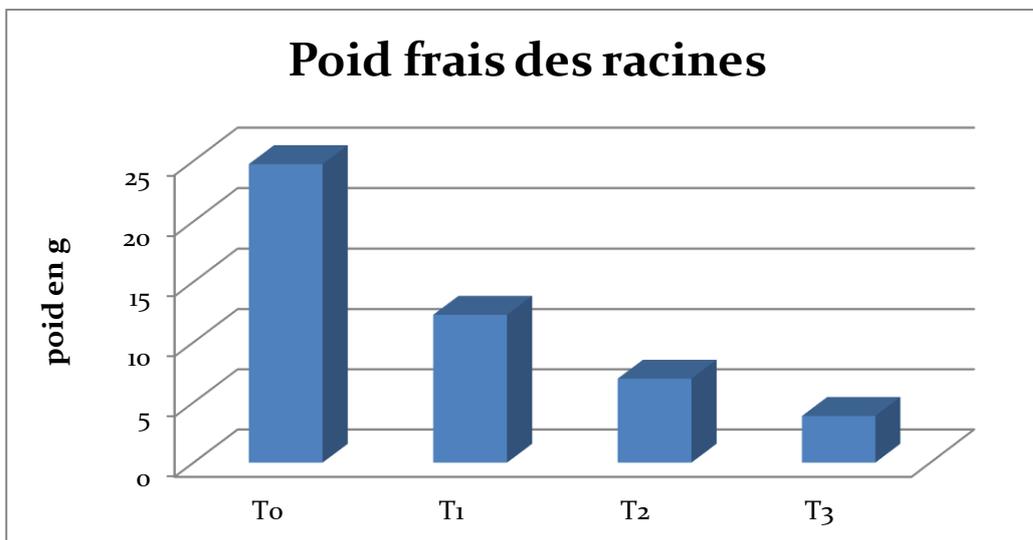


Figure n°13 : Poids frais des racines

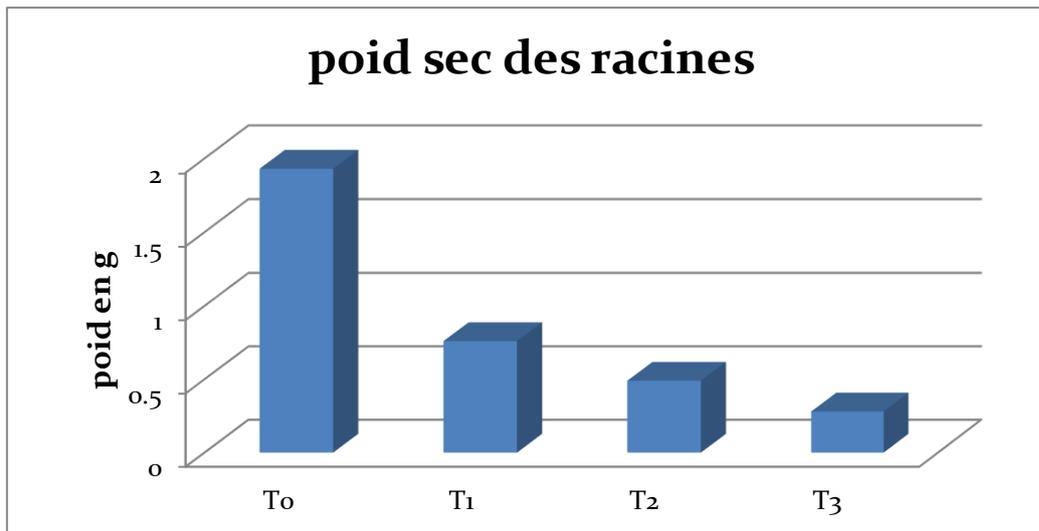


Figure n°14 : Poid sèc des racines

L'analyse de la variance a révélé une différence non significative ($P < 0,005$) du facteur traitement sur le poid frais et sèc des racines. Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% montre l'existence de quatre groupes homogènes pour le poids frais des racines et trois groupes homogènes pour le poid sèc des racines (annexe 06 et 07).

Les résultats montrent que les plantes irriguées par l'eau normale (T0) présentent la meilleure performance valeur plus élevée de poid frais et sèc des racines, suivi par le Traitements (T1) d'une concentration de NaCl 3g/l que présente de valeurs moyenne suivi par le traitement (T2) d'une concentration 6g/l de NaCl. Les plantes irriguées par le traitement (T3) de concentration très élevée de NaCl 9 g/l présente des valeurs très faibles.

Ces résultats confirment le travail de BENMAHIOUL et al (2009), qui ont montré que la salinité provoque une faible biomasse fraîche des organes de l'appareil végétatif, dont les racines sont les tissus les moins affectées par ce phénomène.

Aussi selon LEMZERI(2006), indique que le chlorure de sodium inhibe la croissance des racines des glycophytes, qu'elles réputées très sensible à la salinité, moyennement sensible ou plutôt tolérantes.

1.5 Nombres des fleurs

Les résultats des nombres des fleurs obtenues dans la figure suivante.

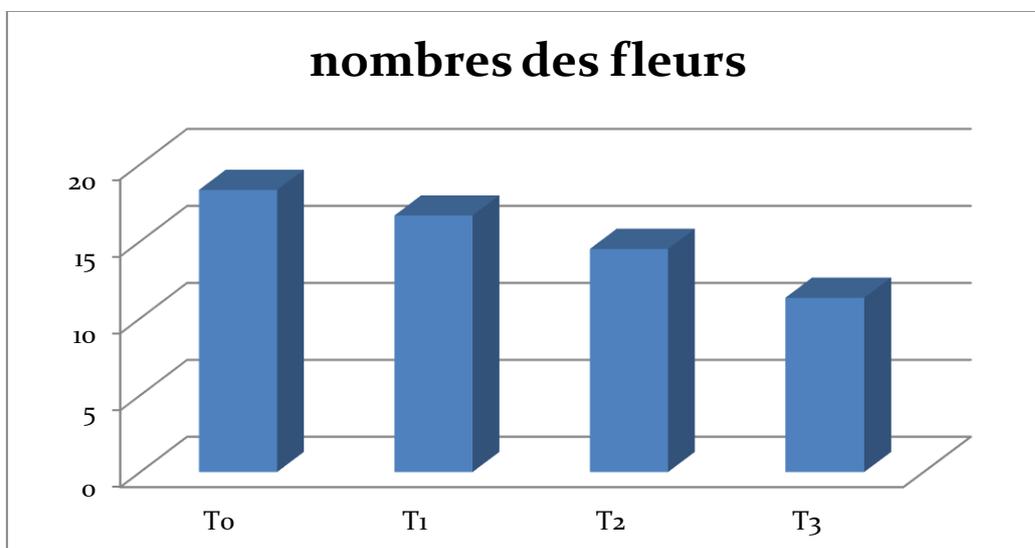


Figure n°15 : nombre des fleurs

L'analyse de la variance a révélé une différence non significative ($P < 0,005$) du facteur traitement sur le nombre des fleurs. Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% montre l'existence de trois groupes homogènes (annexe 08).

Les résultats obtenus que les nombres des fleurs au niveau de témoin (T₀) est très élevé suivie par le traitement (T₁) qui contient une faible concentration de NaCl qui est estimée à 3g/l, suivie par le traitement T₂ qui le pourcentage des nombres des fleurs est moyen, enfin le T₃ qui marqué nombres des fleurs très faible qui contiens une concentration de NaCl très élevé qui estimée à 9g/l. Pour cela, nous remarquons que plus la concentration de NaCl est élevé, plus le nombre des fleurs du plant de haricot est faible, et le rendement inférieur. Donc il existe une relation inverse entre le pourcentage élevé de salinité et le nombre des fleurs dans les plantes de haricot.

2 Paramètre biochimiques

2.1 Teneur en Chlorophylle

Les résultats de la teneur en chlorophylle sont présentés dans la figure suivante.

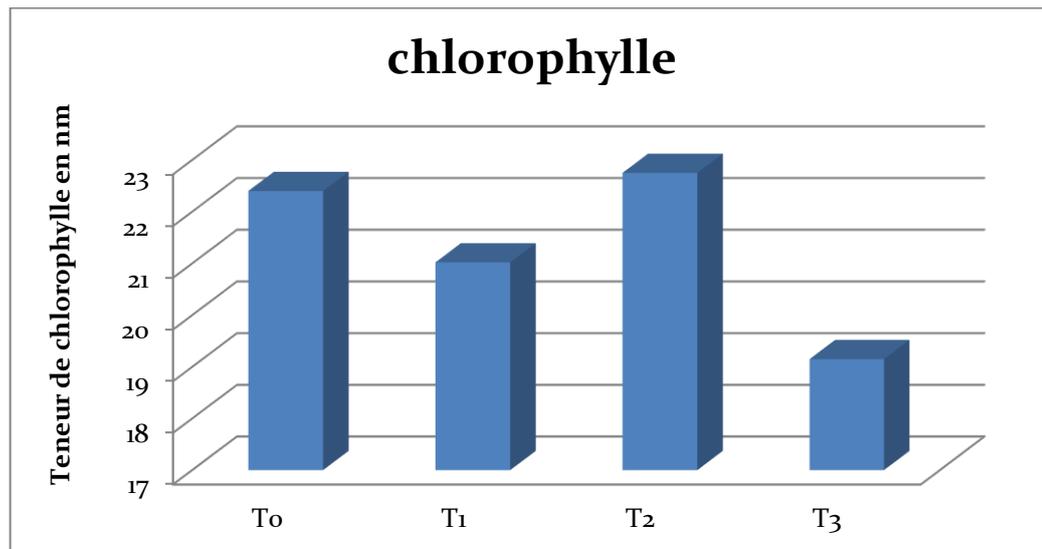


Figure n°16: teneur en chlorophylle

L'analyse de la variance a révélé une différence non significative ($P < 0,005$) du facteur traitement sur la teneur en chlorophylle. Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% montre l'existence de deux groupes homogènes (annexe 05).

Les moyennes les plus élevées sont enregistrées pour le traitement (T₂) 6g/l, et le témoin (T₀). La teneur diminue considérablement pour les traitements (T₁) 3g/l et (T₃) 9g/l. nous remarquons il y a une relation inverse entre la augmentation de stress salin et la diminution de teneur en chlorophylle, plus le stress salin est élevé, plus la teneur en chlorophylle est diminuée.

2.2 Teneur en proline

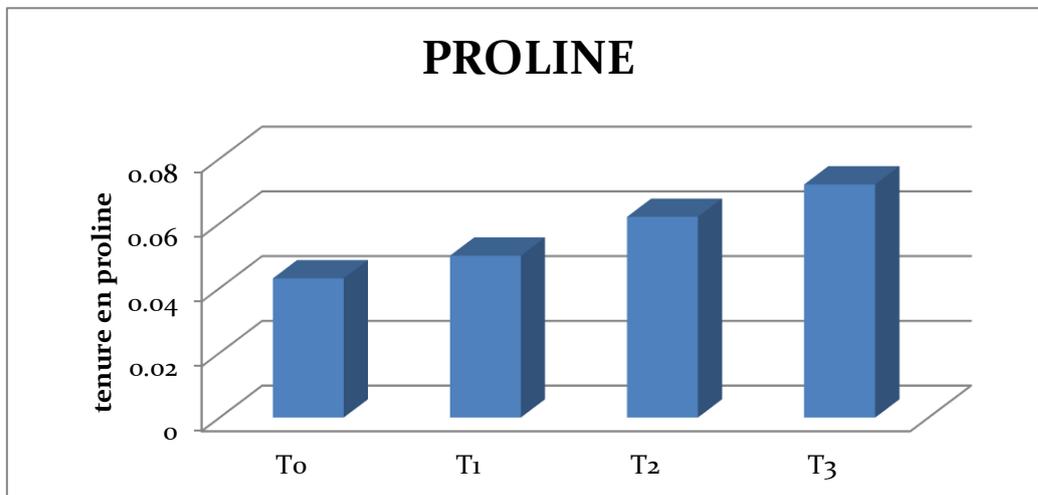


Figure n°17 : teneur en proline

L'analyse de la variance a révélé une différence non significative ($P < 0,005$) du facteur traitement sur la teneur en proline. Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% montre l'existence de groupes homogènes. La proline c'est une acide amine synthétisée par la plante pour affronter un stress environnemental comme le stress salin.

Pour localiser cet osmorégulateur, nous avons préconise son dosage dans les feuilles de haricot, le métabolisme des végétaux est perturbé par le stress salin et notamment le métabolisme des acides aminés libres dans la proline constitue en marqueur de la résistance des plantes aux stress abiotiques. On voit à travers ces analyses qu'il existe une relation directe entre la proportion de proline et l'intensité de la salinité, c'est-à-dire que plus l'intensité de la salinité n'est pas élevée, plus la proportion de proline dans la plante n'est importante. À partir de là, nous pouvons dire que la plante produite de la proline pour l'aider à résister au stress salin. Le métabolisme des végétaux est perturbé par le stress salin et notamment le métabolisme des acides aminés libres dont la proline constitue un marqueur de la résistance des plantes aux contraintes abiotiques. Ce résultat est confirmé par BELKHODJA et BID *al*, 2004 que montrent que l'accumulation de la proline augmentée significativement avec l'augmentation de la concentration de la salinité.

Conclusion

Conclusion

Notre expérimentation a été conduite dans l'objectif d'évaluer l'effet de stress salin sur les caractères morphologiques et physiologiques de haricot *Phaseolus Vulgaris* , les résultats obtenus dans notre expérimentation montrent que le haricot est une plante très sensible au stress salin et le stress salin exerce à un effet négatif pour tous les paramètres testés dans notre étude (pois frais et sec total , nombre des fleurs, taux de chlorophylle, pois frais et sec des racines),sauf la proline qui a une relation directe avec le stress salin, plus la concentration de sel dans l'eau est élevé, plus le taux de proline est élevé. Enfin,et compte tenu de l'importance des cultures maraichères en Algérie, il convient d'approfondir cette recherche concernant l'effet du stress salin sur la plante de haricot ou une autre espèce, nécessitant plus d'approfondissement pour répondre de manière plus prononcée au mécanisme de tolérance à la salinité de cette espèce lors des premiers stades de développements de la plante et L'utilisation d'autres traitements avec différentes concentration.

Références bibliographies.

- **AJMAL KHAN N. , IRWIN A. , SHOWALTER A.M. AND SHOWALTER U. , 2000.** Effect of salinity on growth, water relation and ion accumulation of the subtropical perennial Halophytes, *Atriplex griffithii* var. *stocksi*, *Annals of Botany*, 85 : 225-232 .
- **AKRIB K., ARSLANE S. & HACHI I. (2006).** Caractérisation de la proline, indicateur de stress hydrique chez le blé dur en zone méditerranéenne. 19p. Université Med Boudiaf. M'sila.
- **ALEM, C., & AMRI, A. (2005).** Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Reviews in Biology and Biotechnology*, 4(1), 20-31.
- **ANTIPOLIS S, 2003 .** Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens- étude bibliographique du plan bleu 2 : p.44-48.
- **BELKHODJA M, BIDAI Y ,(2004).** Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination .sécheresse,4 , vol.15,décembre 2004.
- **BERTHOMIEU P, CONEJERO G, NUBLAT A, BRACHENBURY WJ, LAMBERT C, SAVIO C, UOZUMI N, OIKI S, YAMADA K, CELLIER F, GOSTI F, SIMONNEAU T, ESSAH PA, TESTER M, VERY AA, SENTENAC H, CASSE F. 2003.** Functional analysis of AtHKT1 in *Arabidopsis* shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *EMBO Journal*. 22: 2004-2014.
- **BOUBACAR MAINASSARA, Y. (2009).** Estimation, validation et identification des modèles ARMA faibles multivariés (Doctoral dissertation, Lille 3).
- **BRADY N.C AND WEIL R.R, 2002 .** The nature and properties of soils. 13th edn. Prentice Hall, Upper saddle river, NJ., USA.
- **BRAY E.A., BAILEY-SERRES J AND WERETILNYK E, 2000 .** Responses to abiotic stress. In Buchanan B., Grissem W., Jones R (Eds.). *Biochemistry and molecular biology of plants* The American Society of Plant Physiologists; p1158–1203

- **BROUGHTON, W. J., HERNANDEZ, G., BLAIR, M., BEEBE, S., GEPTS, P., & VANDERLEYDEN, J. (2003).** Beans (*Phaseolus spp.*)—model food legumes. *Plant and soil*, 252(1), 55-128.
- **CHAUX. C. et FOURY. C ; 1994.** Productions légumières, Tome III, Légumineuses potagères, Légumes fruits, Technique et Documentation – Lavoisier, Paris. 414p.
- **DELFINE S., ALVINO A., ZACCHINI M. et LORETO F., (1998).** Consequences of salt stress on conductance to CO₂ diffusion, rubisco characteristics and anatomy of spinach leaves. *Aust. J. Plant Physiol.* 25, 395-402.
- **EILERS RG., EILERS WD AND LELYK A, 1995 .** salinité des sols. Sécheresse ed john libbey eurentext, canada; p 23-33.
- **EL HOUSSINE TAHRI, A. B., & SADKI, K. (1998).** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). *Bulletin de l'Institut scientifique, Rabat*, 1997(21), 81-87.
- **ESSINGTON M.E., 2004 .** Soil and water chemistry, an integrative approach. CRC Press, USA
- **FAOSTAT, F. (2016).** Agriculture organization of the united nations statistics division. Economic and Social Development Department, Rome, Italy. Available online: <http://faostat3.fao.org/home/E> (accessed on 31 December 2016).
- **FARISSI M., AZIZ F., BOUIZGAREN A., GHOULAM C. 2014.** La symbiose légumineuse- rhizobia sous conditions de salinité : Aspect Agri-physiologique et biochimique de la tolérance. *International Journal of Innovation and Scientific Research* .11. P 96-104.
- **FLOWERS , T.J., TROKE, P.F. AND YEO, A.R. (1977).** The mechanism of salt tolerance in halophytes . *Annual Review of plant physiology* 28:89-21
- **GENOUX C, PUTZOLA F, MAURIN G. 1991.** Thème général: la lagune méditerranéenne, TPE: Les plantes halophytes.
- **GLENN EP . , BROWN J.J. , 1999.** Effects of soil salt levels on the growth and water use efficiency of *Atriplex canescens* (*Chenopodiaceae*) varieties in drying soil . *American journal of botany* , 85 : 10-16
- **GREGORY B., 2005 .** Écophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique .thèse de mémoire .université Lava Canada .chapitre 1.

- **HALITIM A., 1986** . Projet du programme de recherche sur l'utilisation du rejet de l'industrie phosphatière en agriculture. Polycopies 35p.
- **HAOUALA F, FERJANI H, BEN EL-HADJ S. 2007**. Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca⁺⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement.11(3) : 235- 244.
- **HARTANI T., DOUAOUI A., KUPER M., HASSANI F., (2008)** . Stratégies de gestion individuelle de la salinité dans les périmètres irrigués de bas du Chélif cas de périmètre d'Ouarizane. Actes de troisième atelier du projet du sirma, Nabeul, Tunisie. 12p.
- **HOPKINS W G.2003** . Physiologie végétale .2 éme édition. De Boeck ,Bruscelles :PP 61-476.
- **INSID, (2008)** . Les sols salins en Algérie. Institut National des Sols, Irrigation et drainage. 06p
- **JABNOUNE, M., VERY, A. A., ABDELLY, C., & GUIDERDONI, E. (2008)**. Rôle de transporteurs de sodium et de potassium chez le riz: analyse des propriétés fonctionnelles par électrophysiologie. AUF.
- **KENFAOUI. A., 1997** . La salinité des eaux d'irrigation .Synthèse bibliographique réalisé par les élèves ingénieurs de l'école nationale du génie rural des eaux et des forêts de Montpellier.
- **KOURIS-BLAZOS, A., & BELSKI, R. (2016)**. Health benefits of legumes and pulses with a focus on Australian sweet lupins. Asia Pacific journal of clinical nutrition, 25(1), 1-17.
- **LEVITT J , 1980**. Responses of plants to environmental stresses in water radiation , salt and other stresses . 282 .
- **LEVIGNERON ET al, 1995**. caractérisations de l'état actuel de la salinité. Perspectives d'amélioration de la gestion hydro agricole au niveau d'une parcelle située dans le périmètre irrigué de la mina rellizane.2017 p 10
- **LEVY G.J., 2000** . Sodcity. In: Sumner M.E. (Ed). Handbook of Soil Science. CRC Press.
- **LONGSTRETH D.J. et NOBEL P.S., (1979)**. Salinity effects on leaf anatomy: consequences for photosynthesis. J. Plant Physiol., 63 (4): 700-703.

- **LOZER J., MATHIEU C., (1990).** Dictionnaire de science du sol. Ed Technique et Documentation – Lavoisier. 384 p.
- **M'BAREK B., CHAABANE R., SDIRI H., MEDAHI M. L., SELMI M., 2001.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. Inst Nati de Rech Agro de Tunisie. Sécheresse. V. 12, N°(3) :167-174.
- **MAPHOSA, Y., & JIDEANI, V. A. (2017).** The role of legumes in human nutrition. Functional food-improve health through adequate food, 1, 13.
- **MAPHOSA, Y., JIDEANI, V. A., & ADEYI, O. (2017).** Effect of soluble dietary fibres from Bambara groundnut varieties on the stability of orange oil beverage emulsion. African Journal of Science, Technology, Innovation and Development, 9(1), 69-76.
- **MASHALI A., SUAREZ D.L., NABHAN.H AND RABINDRA R., 2005 .** Integrated management for sustainable use of salt –affected soils .Rome: FAO soils Bulletin, now printing.
- **MOHOUCHE B et BOULASSEL A. ; 1999.** Contribution à une meilleure maîtrise des pertes en eau d'irrigation et de la salinisation des sols en zones arides . Recherches Agronomiques.15-23.I.N.R.A.Alger.
- **MORSLI L. (2010).** Adaptation du blé dur (*triticum durum* desf) dans les conditions des hautes plaines constantinoises. diplôme de Doctorat.Univ Badji Mokhtar.annaba. 3-18p.
- **MUNNS R., 2002 .** Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment; 25: p 239-250.
- **MUNNS R., TESTER M., 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59 : 651-681.
- **OMAMI N., 2005 .** Response of Amaranth to salinity stress.These of Ph.D.Horticulture.University of Pretoria. Chapter 1: p 5-20.
- **PARIDA A.K., Das A.B. et MITTRA, B., (2004).** Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove *Bruguiera parviflora*. Trees-Struct. Funct. 18, 167-174.
- **RAHMOUNE, C ,ZAIMECHE, S., WATHELET, B. ET BEN NACEUR ,(2005).** Rôle des acides aminés comme bioindicateurs de stress métalliques chez les végétaux

aquatiques .1er Colloque Euroméditerranées de biologie végétale et environnement , Annaba 28-30 novembre 2005.

- **RAHMOUNE, C., SEMADI, A., AUAD, H. ET TAHAR, A. 1997.** Air quality and lichenic distribution in the northeast Algeria. proc of second international scientific conference . science , Development and Environment ,Cairo, Egypt ,pp.333-334 .
- **REGRAGUI. A., 2005.** Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur le couple tomate – Verticillium : Conséquences physiologiques et impact sur la bio protection des tomates contre la verticilliose.. These de Doctorat d'état .Rabat.207p.
- **REGRAGUI. A., 2005.** Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur le couple tomate – Verticillium : Conséquences physiologiques et impact sur la bio protection des tomates contre la verticilliose.. These de Doctorat d'état .Rabat.207p.
- **REYNOLDS, M. P., BALOTA, M., DELGADO, M. I. B., AMANI, I., & FISCHER, R. A. (1994).** Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. Functional Plant Biology, 21(6), 717-730.
- **RHOADES J.D., KANDIAH A., MASHALI. A.M., 1992.** The use of saline waters for crop production. FAO Irrigation and drainage paper 48.
- **RHODES, D., & HANSON, A. D. (1993).** Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. Annual review of plant biology, 44(1), 357-384.
- **ROMERO-ARANDA R., SORIA T., CUARTERO J., (2001).** Tomato plant-water uptake and plant- water relationships under saline growth conditions. Plant Sciences. 160: 265-272p.
- **SAXENA N. B., (2006).** Aride zone ecology. Ed. ParagatiPrakashan, Meerut. 191p.
- **SCHUT P., 1996 .** manuel acidity, salinity and solonetzic soil canola responseteso acidity, salinity and solonetzic soil ed john libbey euretext Canada; p 8-23.
- **SINGH N.K; HANDA A.K; HASEGAWA P.M ET BRESSAN R.A., (1987)–** Characterisation of osmotin. Plant physiology 85 :529 – 536.
- **SNOUSSI SA., HALITIM A., VALLES V. 2004.** Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. Cah Agric; 13.P 283-7.
- **TESTER M ; DAVENPORT R ; 2003.** Na resistance and Nat transport in higher plants . Annals of botany 91 , (3) , p . 503-527 .

- **ZHU J.K., 2001.** Plant salt tolerance .trends in plant science n°2.

ANNEX

Annex 1 : Régression de la variable hauteurs finale des tiges

Analyse de la variance (Variable hauteur finale)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	135,1979	45,0660	9,3847	0,0004
Erreur	20	96,0417	4,8021		
Total corrigé	23	231,2396			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

traitement	T0	T1	T2	T3
hauteur final de tige	33,33 ± 1,86	31,50 ± 3,16	30,25 ± 1,41	26,83 ± 1,94
Groupes	A	A	A	B

Annex 2 : Régression de la variable nombre des feuilles

Analyse de la variance (Variable nombres des feuilles)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des tcarrés	F	Pr > F
Modèle	3	9,8333	3,2778	2,1852	0,1215
Erreur	20	30,0000	1,5000		
Total corrigé	23	39,8333			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

traitement	T0	T1	T2	T3
nombres des feuilles	6,17 ±	6,17 ±	6,50 ±	4,83 ±

	0,75	1,72	1,05	1,17
groupes	A	A	A	A

Annex 3: Régression de la variable poids frais total

Analyse de la variance (Variable Poids frais total)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	485,9483	161,9828	126,6975	< 0,0001
Erreur	20	25,5700	1,2785		
Total corrigé	23	511,5183			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

traitement	T0	T1	T2	T3
	22,32	24,63	18,78	12,70
poids frais	±	±	±	±
Total	1,18	1,00	1,21	1,12
groupes	A	B	C	D

Annex 4 : Régression de la variable Poids sèche total

Analyse de la variance (poids sèche total)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	2,8491	0,9497	7,3014	0,0017
Erreur	20	2,6015	0,1301		
Total corrigé	23	5,4506			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

traitement	T0	T1	T2	T3
	2,52	2,40	2,27	1,63
poids sèche total	±	±	±	±
	0,27	0,31	0,38	0,45
groupes	A	A	A	B

Annex 5 : Régression de la variable chlorophylle

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	48,0713	16,0238	4,7833	0,0114
Erreur	20	66,9983	3,3499		
Total corrigé	23	115,0696			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

traitement	T0	T1	T2	T3
	22,40	21,02	22,75	19,15
Teneur de chlorophylle	± 0,81	± 2,44	± 2,19	± 1,42
groupes	A	A	A B	B

Annex 6 : Régression de la variable Poids frais des racines

Analyse de la variance (poids frais des racines)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	1520,5700	506,8567	223,4654	< 0,0001
Erreur	20	45,3633	2,2682		
Total corrigé	23	1565,9333			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

traitement	T0	T1	T2	T3
	24,73	12,28	6,97	3,88
poids frais des racines	± 2,15	± 0,93	± 1,59	± 1,03
groupes	A	B	C	D

Annex 7 : Régression de la variable Poids sèche des racines

Analyse du (poids sec des racines)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	9,7462	3,2487	46,6242	< 0,0001
Erreur	20	1,3936	0,0697		
Total corrigé	23	11,1398			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

traitement	T0	T1	T2	T3
	1,93	0,76	0,49	0,28
poids sèche des racines	± 0,46	± 0,21	± 0,11	± 0,09
groupes	A	B	B C	C

Annex 8 : Régression de la variable Nombres des fleurs

Analyse de la variance (nombres des fleurs)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	164,4583	54,8194	12,2502	< 0,0001
Erreur	20	89,5000	4,4750		
Total corrigé	23	253,9583			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

traitement	T0	T1	T2	T3
nombres des fleurs	18,33 ± 1,37	16,67 ± 1,86	14,50 ± 2,17	11,33 ± 2,80
groupes	A	A B	B	C

Annex 9 : Teneur en proline

Analyse de la variance : proline						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	0,114	0,0228	6339,2256	< 0,0001	00.01
Erreur	19	0,0001	0			
Total corrigé	24	0,1141				

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

traitements	T0	T1	T2	T3
teneur en proline	0,043 ± 0,010	0,050 ± 0,020	0,062 ± 0,011	0,072 ± 0,023