

Sommaire

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction.....	1
-------------------	---

Synthèse Bibliographique

Chapitre I

La Salinité et ses effets sur le sol et la plante

Introduction	3
I-1 Définition et pédogenèse des sols salés.....	3
* Salinisation primaire	4
* Salinisation secondaire.....	4
I-2 Processus de salinisation	5
* La salinisation	5
* La sodisation	6
* L'alcalisation.....	6
I-3 Classification des sols salés.....	7
I-4 Les principaux critères d'évaluation du niveau de la salinité	7
I-5 La salinité et le sol.....	8
I-5-1 Action de la salinité sur les propriétés physiques des sols	8
* Action sur la stabilité structurale	9
* Effet sur la perméabilité du sol	11
* Action sur la rétention en eau	11

I-5-2 Action de la salinité sur les propriétés chimiques.....	12
I-5-3 Action de la salinité sur les propriétés biologiques de sol	12
I-6 La salinité et la plante.....	12
I-6-1 Notion de stress	13
I-6-2 Effet de la salinité sur les plantes.....	13
I-6-2-1 Effet de la salinité sur l'eau dans la plante	13
I-6-2-2 Effet de la salinité sur la germination	13
I-6-2-3 Effet de la salinité sur la croissance et le développement	14
I-6-2-4 Effet de la salinité sur le comportement biochimique de la plante.....	15
I-6-2-5 Effet de la salinité sur le métabolisme de l'azote	17
I-6-2-6 Effet de la salinité sur les processus physiologiques de la plante.....	17
I-6-2-7 Effet osmotique.....	17
I-6-2-8 Effet de la salinité sur les pigments photosynthétiques	17
I-6-2-9 Effet de la salinité sur la morphologie des plantes	
* Effet de la salinité sur les racines	20
* Effet de la salinité sur les tiges.....	20
* Effet de la salinité sur les feuilles	21
I-7 Mécanisme de la tolérance à la salinité par les végétaux	25
* Classification des plantes selon leur tolérance à la salinité	25
I-8 La résistance à la salinité.....	25
A- L'exclusion	25
B- La sélectivité	25
C- L'excrétion	25
I-9 Les stratégies d'adaptation	26
I-9-1 Homéostasie Cellulaire	27

I-9-2 Séquestration du sodium dans les vacuoles	28
I-9-3 Prélèvement de K ⁺	28
I-9-4 Biosynthèse d'osmoprotectants	30
I-9-5 Synthèse de protéines induites par le sel	33
I-9-6 Synthèse d'antioxydants	33
I-9-7 Régulation de croissance.....	33
I-9-8 Tolérance au sel des légumineuses	33
Conclusion	34

Chapitre II

Les légumineuses et la lentille (*Lens culinaris L*)

II-1 Les légumineuses	35
A- Généralité	35
B- Intérêts des légumineuses	37
1 Intérêt scientifique	39
2 Intérêt agronomique	39
3 Intérêt écologique	43
4 Intérêt alimentaire	46
II-2 L'espèce étudiée : La lentille (<i>Lens culinaris L</i>)	51
II-2-1 Classification	52
II-2-2 Centre d'origine de l'espèce	55
II-2-3 Biologie de l'espèce	56
II-2-4 Evolution de la culture de la lentille en Algérie	59
II-2-5 Exigence de la culture.....	69
II-3 La fixation de l'azote	59

II-3-1 L'azote	59
II-3-2 Fixation de l'azote	59
II-2-4 La symbiose	59
* La symbiose <i>Rhizobium</i> légumineuse	59
* Facteurs affectant la fixation biologique de l'azote atmosphérique chez les légumineuses	59
* Les facteurs symbiotiques	59
II-3-5 Physiologie de la symbiose	59
II-3-6 Biochimie de la fixation d'azote.....	59
II-3-7 Spécificité de la symbiose	59
II-3-8 Génétique de la fixation de l'azote	59

Partie expérimentale

Chapitre I

Matériel et méthodes

Introduction	59
I Le déroulement de l'expérimentation	59
I-1 Le test de germination	59
* a) dispositif expérimental	59
* b) Les conditions de l'expérimentation	59
I-2 L'essai en pots sous serre (sous l'abri)	59
I-2-1 Localisation de l'essai.....	59
I-2-2 Mise en place de l'essai	59
* a) Le semis	59
* b) Le dispositif expérimental	59
II- Les analyses et mesures effectués (mesures effectués après 7 semaines de stress salin	59

* a) La partie sous terrain	59
*b) La partie aérienne	59
* Le dosage de la teneur en proline	59
* Le dosage des sucres solubles	59
* Le dosage de la chlorophylle	59
* Le dosage de l'azote total	59
* Le poids frais de la partie aérienne	59
* Le poids sec de la partie aérienne	59

Chapitre II

Résultat, Interprétation et discussion

I- Interprétation des résultats des paramètres physiologiques	59
1) Interprétation des résultats du test de germination	59
a) Le taux de germination après 24H	59
b) Le taux de germination après 48H	59
c) Le taux de germination après 72H	59
d) Le taux de germination après une semaine	59
2) La teneur relative ne eau (TRE)	59
II- Interprétation des paramètres biochimiques	59
a) Les pigments chlorophylliens	59
* La chlorophylle a	59
* La chlorophylle b	59
b) Les pigments caroténoïdes (xanthophylles et carotènes)	59
La teneur en proline et en sucres solubles	59

La teneur en proline	59
Les sucres solubles.....	59
La teneur en azote dans les feuilles	59
II- Interprétation des paramètres morphologiques	59
* Interprétation des paramètres morphologiques racinaires	59
a) La longueur de l'axe principal	59
b) Le volume racinaire	59
c) Le nombres des nodules bactériens	59
d) La taille, la forme et la couleur des nodules	59
* Matière sèche des tiges	59
* Matière sèche des racines	59
Discision.....	59
1- Corrélation entre le stress salin et les paramètres physiologiques et biochimiques	59
2- Corrélation entre le stress salin et les paramètres morphologiques	59
Conclusion	59

Conclusion

Conclusion générale	59
---------------------------	----

Références Bibliographiques

Références bibliographiques	59
-----------------------------------	----

Liste des Tableaux

- Tableau 01 :** Caractéristiques physico chimiques des grands types de sols salés (page 09)
- Tableau 02:** Le risque SAR dans l'eau d'irrigation (page 10)
- Tableau 03:** Caractéristiques agronomiques du matériel végétal utilisé (page 47)
- Tableau 04 :** La CE et le pH du substrat utilisé selon les concentrations.(ms/cm) (page 51)
- Tableau 05 :** la granulométrie de sol utilisé.(page52)
- Tableau 06 :** les analyses du sol utilisé (page 52)
- Tableau 07 :** Analyse de la variance de la teneur relative en eau des plantes de *lens culinaris* L. conduites sous différents stress salin (logiciel spss) (page 69)
- Tableau 08 :** Analyse de la variance des pigments chlorophylliens des 04 variétés de *lens culinaris* (page 71)
- Tableau 09 :** Analyse de la variance des teneurs en sucres solubles et en proline des 04 variétés de *lens culinaris* (page 75)
- Tableau 10 :** Analyse de la variance de taux de l'azote dans les feuilles des quatre variétés de *lens cilinaris* (page 78)
- Tableau 11 :** Analyse de la variance des paramètres morphologiques des racines des quatre variétés de *lens culinaris* (page 79)
- Tableau 12 :** Analyse de la variance de nombre de nodule dans les racines des quatre variétés de *lens culinaris* (page 82)
- Tableau 13 :** Etude des paramètres des nodules racinaires (la taille, la couleur et la forme) des deux variétés de *lens culinaris* (*Ibela et Balkan*) (page 85)
- Tableau 14 :** Etude des paramètres des nodules racinaires (la taille, la couleur et la forme) des deux variétés de *lens culinaris* (*Syrie NT et Métropole*) (page 85)
- Tableau 15 :** Analyse de la variance de matière sèche racinaire et matière sèche aérienne et leur rapport des quatre variétés de *lens culinaris* (page 87)

Liste des Figures

- Figure 01:** Schéma du mécanisme de la formation des sols salés (page 07)
- Figure 02:** Classification des légumineuses de la famille des Papilionoideae (page 29)
- Figure 03 :** Schéma et photo de la lentille (*lens culinaris L*) (page 33)
- Figure 04:** les périodes de semis de la lentille selon les variétés et l'altitude (page 34)
- Figure 05 :** le mutualisme Rhizobium légumineuse (page 36)
- Figure 06:** Dialogue moléculaire entre la plante et la bactérie lors de la mise en place d'une association symbiotique fixatrice d'azote. (page 40)
- Figure 07 :** Différentes étapes de l'établissement de la symbiose rhizobia-légumineuse.
- Figure 08 :** Schéma du dispositif expérimental a 02 facteurs (salinité et génotype) (page 49)
- Figure 09 :** Schéma du dispositif expérimental au stade levé a 02 facteurs (salinité et génotype)
- Figure 10 :** Schéma du dispositif expérimental au stade début floraison a 02 facteurs (salinité et génotype)
- Figure 11:** Schéma du courbe étalon du taux de proline (page 56)
- Figure 12 :** courbe-étalon pour le dosage du taux de sucres solubles (page 57)
- Figure 13:** Photo du spectrophotomètre UV1200 (page 59)
- Figure 14 :** Aspirateur et de digestion (page 60)
- Figure 15 :** Distillateur (page 61)
- Figure 16 :** Histogramme comparatif du taux de germination après 48H sous l'effet du stress salin des quatre variétés de *Lens culinaris* (page 65)
- Figure 17:** Histogramme comparatif du taux de germination après 72H sous l'effet du stress salin des quatre variétés de *Lens culinaris* (page 66)
- Figure 18 :** Le taux de germination après 72H des quatre variétés de *Lens culinaris* (page 66)
- Figure 19 :** Histogramme comparatif du taux de germination après une semaine sous l'effet du stress salin des quatre variétés de *Lens culinaris* (page 67)
- Figure 20 :** Histogramme comparatif de la teneur relative en eau sous l'effet du stress salin des quatre variétés de *Lens culinaris* (page 69)
- Figure 21 :** Histogramme comparatif de la teneur en chlorophylle a ($\mu\text{g/g}$ de MF) des quatre variétés de *lens culinaris L* (page 72)
- Figure 22 :** Histogramme comparatif de la teneur en chlorophylle b ($\mu\text{g/g}$ de MF) des quatre variétés de *lens culinaris L* (page 73)
- Figure 23:** Histogramme comparatif de la teneur en caroténoïde ($\mu\text{g/g}$ de MF) des quatre variétés de *lens culinaris L* (page 74)
- Figure 24 :** Histogramme comparatif de taux de proline sous l'effet de Na Cl des quatre variétés de *Lens culinaris*. (page 76)
- Figure 25 :** Histogramme comparatif de taux de sucre soluble sous l'effet de Na Cl des quatre variétés de *Lens culinaris* (page 76)
- Figure 26 :** Histogramme représentant de la variation de la teneur des feuilles en azote sous l'effet de Na Cl des quatre variétés de *Lens culinaris* (page 78)

Figure 27 : Histogramme représentant de la variation de la longueur de l'axe principale sous l'effet de Na Cl des quatre variétés de *Lens culinaris* (page 80)

Figure 28 : Effet du stress salin sur la longueur et le volume racinaire de la variété Syrie Nt (page 81)

Figure 29 : Histogramme comparatif de l'effet du stress salin sur le volume racinaire des quatre variétés de *Lens culinaris* (page 81)

Figure 30 : Histogramme comparatif de l'effet du stress salin sur le nombre des nodules racinaires des quatre variétés de *Lens culinaris* (page 83)

Figure 31 : Vue des nodules sous la loupe bi-oculaires avec grossissement *200 dans les racines de Métropole variété algérienne de *Lens culinaris* L sous l'effet de NaCl (page 83)

Figure 32 : Photos des racines avec des nodosités bactériennes dans un milieu non salé. Variété Balkan de *Lens culinaris* L (page 84)

Figure 33 : Histogramme comparatif de l'effet du stress salin sur le rapport MSR/MSF des quatre variétés de *Lens culinaris* (page 88)

Figure 34 : Histogramme comparatif de l'effet du stress salin sur la matière sèche aérienne des quatre variétés de *Lens culinaris* (page 88)

Figure 35 : Histogramme comparatif de l'effet du stress salin sur la matière sèche racinaire des quatre variétés de *Lens culinaris* (page 89)

Figure 36 : Conductivimètre (Annexe1)

Figure 37 : Pipette de ROBINSON (Annexe1)

Figure 38 : pH mètre (Annexe1)

Figure 39 : Calcimètre de BERNARD (Annexe1)

Figure 40: Dosage des sucres solubles (Annexe2)

Figure 41 : Dosage des pigments chlorophylliens (Annexe2)

Figure 42 : La germination de *Lens cullinaris* après une semaine (Annexe3)

Figure 43 : schéma des racines avec des nodosités bactériennes dans un milieu non salé. Variété Métropole de *Lens culinaris* L (Annexe3)

Liste des Abréviations

% : pourcentage.

°C : degré Celsius.

µg : microgramme

µM :micro mole

C.E : Conductivité électrique

C.E.C : Capacité d'échange cationique.

ddl : degré de liberté.

ds/m :dési siemens par mètre

DSA :direction des services agricoles.

DSASI: Direction des statistiques agricoles et des systèmes d'information.

ESP : Potentiel du sodium échangeable.

F : Test de Fisher.

Fig. : figure.

g : gramme.

h: heure.

ha : hectare.

ICARDA : International Center for Agricultural Research in the Dry Area

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique.

ITGC : institut technique des grandes cultures.

Meq : mille équivalents.

mg: milligramme.

ml : millilitre.

mM : milli mole

mm : millimètre.

Mmhos/Cm :Milimos par centimètre.

mn : minute.

MSF : matière sèche des feuilles.

MSR : matière sèche racinaire

N : normalité.

nm: nanomètre.

P : probabilité.

P :probabilité

pH : potentiel hydrogène.

qx : quintaux.

R :Indice de corrélation.

ROS :reactive oxygen species.

SAR :Sodique absorption ration

SAU :Surface agricole utile.

SOS :Salt overly sensitive.

SPSS :statistical Package of social sciences.

Tab. : Tableau.

Tre :la teneur relative en eau.

Genomiques et perspectives. Ecole thematique biologie vegetale.

Introduction

Dans les zones arides et semi-arides, l'approvisionnement en eau d'irrigation constitue l'un des facteurs déterminants dans la production agricole, aussi bien dans l'intensification des cultures que dans l'extension des surfaces irriguées. Pour les régions tempérées, les eaux superficielles constituent la principale source d'eau d'irrigation alors que dans les zones semi-arides, où cette ressource est rare ou inexistante, on fait appel aux eaux souterraines (BOUALLA *et al.*, 2012). Le développement de l'agriculture dans ces zones rencontre actuellement, en dehors de la rareté des ressources hydriques, de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation des sols.

En effet, pour satisfaire le besoin en eau des plantes, on fait appel à l'irrigation (DROUBI, 1976). C'est ainsi que depuis une cinquantaine d'années, de grands périmètres d'irrigation ont été construits en Algérie pour combler le déficit en eau des cultures. Cependant, ces pratiques d'irrigation à grande échelle ont modifié le fonctionnement des sols et accru le risque de salinisation. En effet, en Algérie, plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de salinité (DOUAOUI et HARTANI, 2007).

La dégradation des sols par salinisation ou alcalinisation apparaît comme toile de fond à tous les aménagements hydro-agricoles en zone aride et semi-aride. Dans ces régions, les eaux sont soumises à une forte évaporation, leurs sels ont tendance à se concentrer et les sols à se saler. (IRD, 2008).

Une salinisation trop importante, accompagnée parfois d'une alcalinisation du complexe absorbant des sols, ce sont là les types de dégradation les plus fréquentes qui sont souvent liées à la désertification. Par ailleurs, plus l'aridité est forte, plus l'irrigation est incontournable à la culture et plus son usage est risqué. (LE BORGNE, 2010).

Cependant, la salinité des sols est provoquée par le climat mais aussi et surtout par l'action de l'homme. Outre les difficultés dues à une gestion aléatoire, au changement continu du statut des terres agricoles et à la non maîtrise des techniques de production, l'agriculture algérienne ne cesse de subir les effets de plus en plus pervers et durables du changement climatique.

Les contraintes abiotiques, telles que la sécheresse, la salinité et les températures extrêmes causent d'importantes pertes de récolte au niveau mondial réduisant ainsi les rendements moyens pour la plupart des plantes cultivées de plus de 50% (DJILI et DAOUD, 2000; BELKHODJA et BIDAI, 2004). D'autre part, l'apport excessif de fertilisants en vue d'augmenter les rendements provoque aussi la salinité des sols (QUADIR et COSTER, 2004).

Les caractères physiologiques et biochimiques d'adaptation aux contraintes environnementales ont suscité l'attention de nombreux chercheurs. (EL MIDAOUI *et al.*, 2007). L'accumulation des composés organiques a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Cette accumulation varie selon l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés tels que les acides aminés libres et les sucres solubles totaux entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes. (EL MIDAOUI *et al.*, 2007).

C'est dans cette perspective que s'intègre l'action de l'introduction des légumineuses dans les systèmes de rotation agricoles pour la mise en valeur des sols et pour la minimisation de l'utilisation des engrais chimiques, puisque l'utilisation des légumineuses est préconisée pour la

restauration des sols dégradés. En jouant le rôle de plantes pionnières, les légumineuses facilitent l'implantation d'autres espèces végétales (DOMMERGUES *et al.*, 1999).

De part leur importance économique, agronomique et écologique, les légumineuses (fabacées), constituent un enjeu à caractère stratégiques pour plusieurs pays, ceux du sud en particulier. En Algérie les légumineuses occupent une place importante et constituent avec les céréales l'épine dorsale du système alimentaire algérien.

Environ 75% de la superficie destinée à la culture des légumineuses est localisée en zones de plaines de l'intérieur. Ces zones situées dans leur ensemble en zone semi-aride se caractérisent par de diverses contraintes abiotiques dont les paramètres climatiques occupent une place prépondérante. Le stress abiotique qui correspond à toutes les conditions de l'environnement ou combinaisons de conditions de climats et de sols qui empêche la plante de réaliser l'expression de son potentiel génétique pour la croissance, le développement et la reproduction (RICHARDS *et al.*, 2002).

Pour une agriculture durable il sera plus intéressant de s'orienter vers une gestion rationnelle des terres cultivées basées sur une connaissance profonde des interactions biologiques entre espèces et en utilisant des ressources naturelles disponibles. D'autre part, l'identification de variétés tolérantes aux sels permettrait certainement d'améliorer la production des zones à risque ou irriguées à l'eau saumâtre et présenterait un intérêt évident dans l'optique d'aide à l'amélioration variétale.

Au cours de cette étude, le travail portera surtout sur l'analyse de quelques paramètres biochimiques et morphologiques de quatre génotypes de lentille (*lens culinaris*, L) qui est une légumineuse à haute valeur alimentaire, facile à digérer en comparaison avec d'autres légumineuses. Elle est principalement consommée comme source de protéines dans divers produits allant des potages aux desserts. Renfermant 25 % de protéines, Excellente source de vitamine A, elle fournit les fibres, du potassium, des vitamines B et du fer. Contrairement à la viande, à la volaille, au poisson et aux œufs, cette source de protéines ne renferme pas de cholestérol et presque pas de lipides.

Le mémoire écrit sera composé de deux grandes parties partagées chacune en chapitres et qui sont :

1. D'abord, en première partie, sont exposées les principales recherches bibliographiques acquises dans ce domaine avec deux chapitres principaux, l'un ayant trait à la salinité des sols et ses effets sur la plante et le sol; l'autre portant sur des généralités concernant le matériel végétal utilisé à savoir la Lentille qui est une légumineuse cultivée;
2. Une seconde partie est destinée à la présentation de la méthodologie adoptée dans notre expérimentation, comme premier chapitre de cette deuxième partie puis un deuxième chapitre résumant l'interprétation des différents résultats obtenus et enfin un dernier chapitre concernant la discussion et la conclusion sur les paramètres retenus pour apprécier la réponse des génotypes testé au stress salin.

Synthèse
Bibliographique

Chapitre I

La Salinité

et ses effets sur le sol et la plante

Introduction

La salinité des sols et de l'eau, est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale et le rendement agricole (AL-KARAKI, 2000; BAATOUR, 2004). Dans les écosystèmes arides et semi arides, elle résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie, (MUNNS *et al.*, 2006).

Elle provient également de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (KACI, 2012). Chaque année, les surfaces perdues à cause de la salinité des sols, varient autour de 20 millions d'hectares dans le monde. Ainsi, au Maghreb plus de 30% des eaux destinées à l'irrigation sont chargées en sel, et elles induisent à la longue, une toxicité aussi bien dans la rhizosphère que dans les différentes parties de la plante. Cette toxicité engendre des dégâts au niveau des ultra structures cellulaires contribuant, à la fois, à la réduction de la croissance et a des rendements faibles chez les variétés sensibles. (RAHMOUNE *et al.*, 2008) .

Ainsi, ces surfaces affectées sont passées de 48 millions à 265 millions d'ha de terres agricoles touchées par la salinité et les surfaces agricoles affectées dans le monde seraient de 340 millions d'ha, soit 23% des terres cultivées dans le monde (CHEVERRY, 1994).

I.1.Définitions et origine des sols salés

La salinité des sols correspond à une teneur en sels solubles préjudiciable à la production végétale. C'est le processus pédologique par lequel le sol s'enrichit anormalement en sels solubles en acquiert le caractère salin (MICHEL, 2005). Les sols sont salés lorsqu'ils contiennent une certaine quantité d'éléments minéraux, dont notamment le sodium, sous forme dissoute, échangeable ou précipitée. Selon MUNNS *et al.*, (2006).

La salinité représente l'accumulation des sels dissous dans la solution du sol à un niveau qui inhibe la croissance et le développement des plantes. On compte généralement deux formes de salinisation : Primaire et secondaire.

• **Salinisation primaire** : La salinité primaire résulte de l'accumulation des sels dans le sol à travers un long processus naturel de dégradation des roches salines et des apports éoliens des sels des mers et océans.

• **Salinisation secondaire**: D'origine anthropique, résultant des activités humaines, notamment l'irrigation avec des eaux chargées de sels (MUNNS *et al.*, 2006). Il s'agit d'une contamination du sol, par des apports extérieurs comme les eaux chargées de sels solubles (de la nappe phréatique salée ou de l'irrigation par des eaux plus ou moins salines) (AUBERT et BOULAINÉ, 1980); fertilisation chimique excessive.

La salinité est une contrainte en agriculture parce que la plus part des cultures sont peu tolérantes aux excès de sels. De plus la salinité est associée à l'eau qui est un important facteur d'augmentation des productions végétales. En effet, les 15% des terres irriguées dans le monde participent pour 1/3 dans la production totale mondiale.

De ce fait la réduction de la productivité, suite à la salinité, pose une sérieuse contrainte à l'augmentation de la production pour couvrir une demande alimentaire de plus en plus importante (CHAVES *et al.*, 2003).

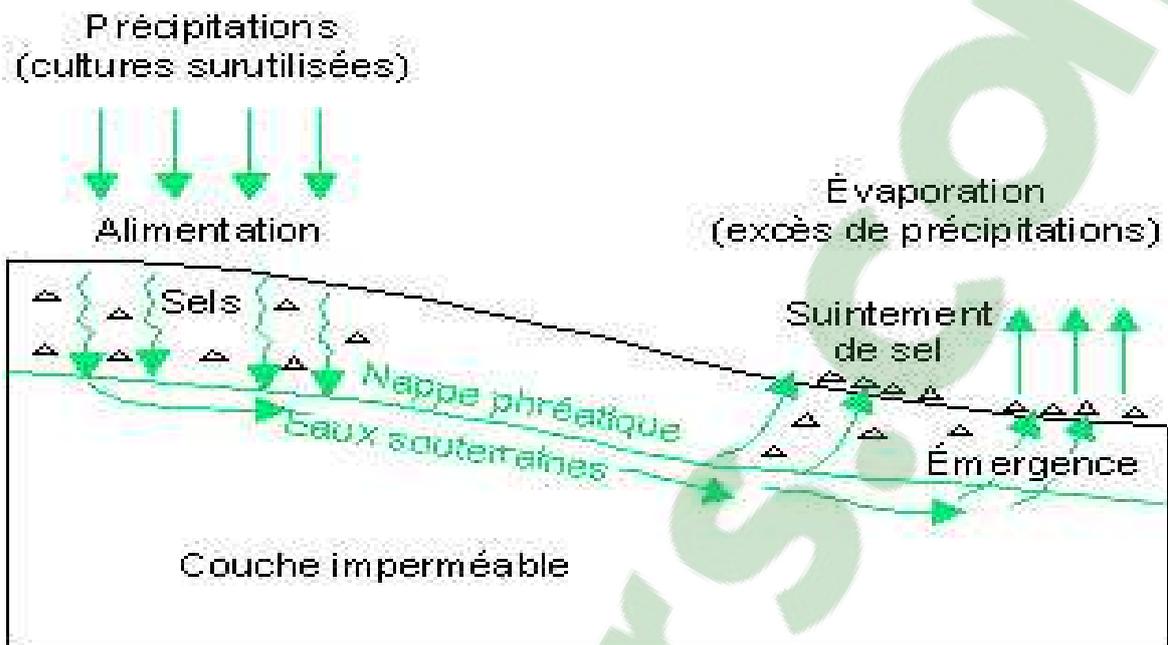


Figure 01: Schéma du mécanisme de formation des sols salés.

(http://fr.wikipedia.org/wiki/sol_salé)

I.2. Processus de salinisation : Selon PHILIPPE (2001), trois processus responsables :

- **La salinisation :** Elle se produit lorsque la minéralisation de la solution du sol dépasse un certain seuil sous l'influence d'un mécanisme physique (évaporation, drainage interne insuffisant, altération de minéraux et accumulation).

- **la sodisation :** Ce processus se produit lorsque le complexe organo-minéral d'échange est progressivement saturé par l'ion Na^+ .

- **L'alcalisation :** C'est la libération de l'ion Na^+ dans la solution du sol, ce qui élève le PH et disperse les feuillets d'argile. Ce processus intervient lorsqu'un sol à complexe saturé en Na^+ se transforme physiquement suite aux réactions d'échange entre l'ion sodium et les protons au moment d'une humectation, (PHILIPPE, 2001; MICHEL, 2005).

I.3. Classification des sols salés

Selon DUCHAUFFOUR (1983), deux sous classes de sols halomorphes :

- **Sols à complexe sodique ou sols alcalins (les solonetz) :** Caractérisés par une saturation marquée en Na^+ et une accumulation des sels en profondeur. La conductivité électrique (C.E) ne dépasse pas 4 ds/m à 25°C, et le pH est supérieur à 8,5.

- **Sols salins (Solontchaks) :** Ces sols sont soumis à l'influence d'une nappe peu profonde riche en sels sodiques neutres (NaCl , Na_2SO_4), CE supérieure à 8ds/m, PH à 8,5, (DUCHAUFFOUR, 1983).

Tableau 01 : Caractéristiques physico chimiques des grands types de sols salés.

Type de sol / Critère	non salin	Salin calci magnésien	salin sodique	Sol salin/alcalin	Sol alcalin lessivé
CE (ds.m ⁻¹)	<4	>4	>4	indifférent	<4
Na/CEC (%)	<15	<15	<15	>15	>15
pH	Neutre	<8.5	<8.5	>8.5	>8.5
	-	Cl-, Na, Ca, Mg (salant blanc "hygroscopique)	NaCl, Na, Mg (salant blanc "typique")	alcalins (salant noir)	-

Source : SNOUSSI, 2001.

I.4. Les principaux critères d'évaluation du niveau de la salinité

• La conductivité électrique CE

Elle est utilisée pour la mesure de la salinité des eaux et du sol exprimé en déci siemens par mètre (ds/m) à 25°C ou en milimhos par cm. (AUBERT, 1980). Selon MICHEL, (2005), c'est l'évaluation de la capacité de l'électrolyte à conduire le courant électrique (CE) de la solution du sol rapportée à une température standard de 25°C.

Il existe une relation entre la CE et la pression osmotique (POIRE, 1973).

$P0=K.CE$, (K=coefficient nature du sel de 0.28 à 0.35).

• Le Sodium échangeable ou ESP

C'est le rapport $Na+/CE$ ou le paramètre ESP (échangeable sodium pourcentage) qui estime le degré de saturation du complexe d'échange cationique. (MICHEL, 2005). C'est l'alcalinité d'un sol qui est légère ($ESP<15\%$), moyenne ($ESP<20\%$), grave ($ESP>45\%$).

• Le PH : Celui des sols salés peut dépasser 8,5 et cela résulte de l'abondance, la diversité et la solubilité des sels. (LEGOUPIL, 1977).

• La sodicité : C'est le taux de sodium absorbé par rapport aux deux cations bivalents Ca^{++} et Mg^{++} en équilibre: $SAR= (Na+.0, 5) / (Ca^{++}+Mg^{++})^{1/2}/2$ en mole.l⁻¹ (AYERS,1981).

Le SAR et la CE sont utilisés comme critères de qualité des sols.

Tableau 02: Le risque SAR dans l'eau d'irrigation

	Faible	Moyen	Fort	Extrême
CE (dsm ⁻¹)	< 2	2 à 4	4 à 8	> 8
SAR	< 4	4 à 8	5 à 12	> 12

Source (ALBERTA, 2001)

I.5. La salinité et le sol

I.5.1. Action de la salinité sur les propriétés physiques des sols

• Action sur la stabilité structurale

Selon MICHEL (2005), des mécanismes physiques tels que fracturation, l'éclatement et la dispersion réorganisent l'assemblage des constituants conduisant au remaniement du sol. En effet, la saturation de la fraction argileuse en sodium provoque la dispersion des fines particules et la modification de la structure du sol (GASSEMI, 1995).

• Effet sur la perméabilité du sol

La perméabilité dépend de la texture et devient difficile elle lente et se fait par diffusion (AUBERT, 1980). A l'état humide, et par manque de cohésion des particules fines, l'argile occupe les vides de la matrice (sol) et réduit la perméabilité. (Phelippe.2001).

• Action sur la rétention en eau

La capacité de rétention en eau diminue en fonction de la nature des cations dans l'ordre suivant : $Na^+ > Ca^{++} > K^+$. (DJAMEL, 1993).

I.5.2. Action de la salinité sur les propriétés chimiques

La disponibilité de l'eau diminue dans le sol, si la concentration de la solution de sol est importante, et élévation de PH observé dans ces sols provoque des carences de certains éléments (CHAMAYOU et LEGROS, 1989).

I.5.3. Action de la salinité sur les propriétés biologiques de sol

Les sels forment une couche imperméable en surface empêchant toute activité biologique (HALFAOUI, 1988). Ainsi selon (AUBERT, 1988) la pression osmotique de la solution des sols salés s'élève d'où l'alimentation en eau difficile des plantes et micro-organismes.

I.6. La salinité et la plante

I.6.1 La Notion de Stress

LEVITT (1980) décrit la physiologie du stress en l'abordant dans son aspect physique. Le stress est une contrainte qui peut se résumer à une (ou plusieurs) forces de déformation appliqué à un corps. Par analogie à la physiologie des plantes, une contrainte environnementale va provoquer une tension interne dans l'organisme exposé. Selon (HOPKINS, 2003) on appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante.

Par ailleurs, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype). On distingue deux grandes catégories de stress:

- Ñ **Biotique:** imposé par d'autres organismes (des micro organismes, insectes, herbivores...).
- Ñ **Abiotique:** provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité.

I.6.2. Effet de la salinité sur les plantes

La salinité du sol ou de l'eau est causée par la présence d'une quantité excessive de sels. Généralement un taux élevé de Na⁺ et Cl⁻ cause le stress salin. Le stress salin a un triple effet: il réduit le potentiel hydrique, cause un déséquilibre ionique ou des perturbations en homéostasie ionique et provoque une toxicité ionique. Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et limitation de la productivité végétale. Depuis que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique (HAYASHI et MURATA,1998 in PARIDA et DAS, 2005), l'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol (GREENWAY et MUNNS,1980 in PARIDA et DAS,2005).

I.6.2.1. Effet de la salinité sur l'eau dans la plante

La première difficulté d'une plante en milieu salin est d'assurer son apport en eau. Pour cela, il faut que la plante puisse ajuster la pression osmotique de ses tissus par rapport à la pression osmotique du sol. Ce phénomène nommé **l'épictèse**, permet donc à la plante d'assurer une hypertonie constante (HELLER, 2004).

Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence. Dans les conditions de concentrations élevées de salinité accrue, le potentiel hydrique de la feuille et la vitesse d'évaporation diminuent significativement chez l'halophyte *S. salsa* alors qu'il n'y a pas de changement dans le contenu relatif en eau (LUET *et al.*, 2002 in PARIDA et DAS, 2005).

I.6.2. 2. Effet de la salinité sur la germination

Le stade plantule est le plus vulnérable dans le cycle de vie de la plante, et c'est la germination qui détermine le temps et le lieu pour que la croissance de la plantule ébauche. Ce stade de germination est souvent limitée par la salinité du sol et se montre le plus sensible que les autres stades (SAID *et al.*, 2011).

Selon REJILI *et al.*, 2006, les semences des glycophytes et des halophytes répondent de la même manière au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées et en accusant un retard dans l'initiation du processus de la germination .Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée .

I.6.2. 3.Effet de la salinité sur la croissance et le développement

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire et cette expansion s'arrête si la concentration du sel augmente (WANG et NIL, 2000). Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (CHARTZOULAKIS et KLAPAKI, 2000).

La salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire chez la tomate (MOHAMED *et al.*, 1998).

Le taux élevé de NaCl se manifeste par une croissance dans la biomasse des racines, tiges et feuilles et une augmentation dans le ratio partie racinaire/partie aérienne chez le coton (MELONI *et al.*, 2001).

I.6.2. 4. Effet de la salinité sur le comportement biochimique de la plante

Dans des conditions salines, il y a un changement dans le modèle d'expression des gènes et des changements qualitatifs et quantitatifs dans la protéosynthèse (REYNOLDS *et al.*, 2001). Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de la membrane cellulaire, affectant ainsi sa stabilité (ALEM et AMRI, 2005).

Chez diverses espèces, plus ou moins résistantes, on a observé une augmentation des sucres totaux résultant d'un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une forte hydrolyse de l'amidon (ASLOUM, 1990). Selon HADJADJ (2009), l'accumulation des Sucres solubles est importante dans les feuilles des plantes stressées.

D'autre part, ASPINAL et PALE(1981) in AGUENRAL (2001), signalent que la proline est l'acide aminé le plus caractérisé des plantes soumises au stress salin. L'importance de la proline comme indicateur aux agressions semble jouer un rôle dans le maintien des pressions sol-vacuole, mais aussi dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques. ainsi qu'un régulateur du pH.(ALEM et AMERI, 2005).

HERNANDEZ *et al.*, (2000) in AGUENRAL (2001), ont constaté que :le génotype tolérant accumule plus de proline que le génotype sensible de *Cicer arietinum*, à des concentrations inférieures à 100mM de NaCl, la proline aurait aussi un rôle dans la limite de l'osmorégulation.

I.6.2. 5. Effet de la salinité sur le métabolisme de l'azote

L'activité du nitrate réductase (NRA) diminue dans les feuilles de beaucoup de plantes pendant le stress salin (FLORES *et al.*, 2000).

La première cause de la réduction de la NRA dans les feuilles est un effet spécifique associé à la présence de sel Cl^- dans le milieu externe. Cet effet de Cl^- semble être dû à la réduction de l'absorption du NO_3^- et par conséquent une concentration réduite de NO_3^- dans les feuilles, bien que l'effet direct du Cl^- sur l'activité de l'enzyme qui ne peut être écarté (FLORES *et al.*, 2000).

Chez le maïs (*Zea mays*) le taux des nitrates diminue dans les feuilles, mais augmente dans les racines sous le stress salin et la NRA des feuilles diminue aussi dans la salinité (ABDELBAKI *et al.*, 2000).

L'exposition des racines nodulées au NaCl des légumineuses comme le soja et l'haricot cause une réduction rapide de la croissance végétale (PARIDA et DAS, 2005). L'activité de la nitrogénase diminue chez l'haricot par une exposition à courte durée à la salinité.

I.6.2. 6. Effet de la salinité sur les processus physiologiques de la plante

Si la concentration en sel excède le niveau de tolérance de la plante, des perturbations fonctionnelles apparaissent au niveau de la photosynthèse, par effet du sel dans le stroma des chloroplastes qui perturbe le transport des électrons. Par conséquent, la glycolyse et le cycle de Krebs sont aussi affectés. De même que l'acquisition de nutriments minéraux, comme le potassium, les nitrates ou le calcium est également réduite. (ALEM et AMRI, 2005).

Si chez certaines halophytes, la croissance est stimulée par un apport modéré de sel, ce phénomène reste limité par un niveau de tolérance. Des stress extrêmes conduisent au nanisme et à l'inhibition de la croissance. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir fini leur croissance, et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite. (HOPKINS, 2003).

I.6.2. 7. L'Effet osmotique

Plus la salinité augmente et plus la pression osmotique de la solution du sol sera élevée, (BOLYN, 1975). Sur les plantes, la salinité a deux actions bien distinctes qui peuvent se produire simultanément:

- Ñ La sécheresse physiologique qui inhibe l'absorption de l'eau et de sels par les plantes et qui entraîne un retard ou un arrêt de croissance (HOPKINS, 2003).
- Ñ L'intoxication par la concentration de certains ions provoquant la mort des cellules, la modification des chloroplastes et des mitochondries des feuilles.

Les effets toxiques peuvent se produire sur la membrane plasmique ou dans le protoplaste après avoir traversé celle-ci, notamment le Cl^- et Na^+ (ALEM et AMRI, 2005).

I.6.2. 8. Effet de la salinité sur les pigments photosynthétiques

L'effet de la salinité sur la photosynthèse, dépend de la concentration des sels de l'espèce et de la plante, (OMAMI, 2005). La salinité réduit l'assimilation de CO_2 par des réductions de surface des feuilles (MUNNS *et al.*, 2000), conductibilité des stomates (PARIDA *et al.*, 2003), efficacité des enzymes photosynthétiques et le bon fonctionnement de photosystèmes (REDONDO-GOMEZ *et al.*, 2008).

Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin. Les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber sous l'effet du stress salin (AGASTIAN *et al.*, 2000).

Par contre, Wang et Nil (2000) ont rapporté que la chlorophylle augmente sous les conditions de salinité chez *Amaranthus*. Chez *Grevilea*, la chlorophylle et les caroténoïdes diminuent significativement sous le stress salin, mais. Les pigments anthocyaniques augmentent significativement dans ce cas de stress salin (Parida et Das, 2005).

I.6.2. 9. Effet de la salinité sur la morphologie des plantes

La salinité affecte toute la plante mais elle freine davantage la croissance des parties aériennes que celle des racines.

- Ñ **Effet de la salinité sur les racines :** Selon LEVIGNERON *et al.*, (1995), les racines sont les premières à réagir. Selon BRUN en 1980, l'excès de sel dans l'environnement racinaire donne naissance à des plantes naines. La masse racinaire est moins affectée par la salinité que les limbes, les tiges et les pétioles.

- Ñ **Effet de la salinité sur les tiges** : La longueur des tiges est réduite par l'excès de sel dans le sol (ABERKANE, 1992). Pour le Tournesol, la réduction de la hauteur de la tige est de 30 cm, (BOUZAIDI et SALAMA, 1978).
- Ñ **Effet de la salinité sur les feuilles** : Des concentrations élevées de sel tels que le Ca^{++} , Mg^{++} et les bicarbonates provoquent des nécroses sur les feuilles, des décolorations et la réduction de la chlorophylle, (SAIDOUNE, 2000).

I.7. Mécanisme de la Tolérance à la salinité chez les végétaux

Venant du grec halos (sel) et phyton (plante), le terme d'halophyte a été introduit en 1809 par PIERRE SIMON PALLAS et attribué aux végétaux vivant sur des sols salés, ou sols avec solution trop riche en sels et par là impropres à recevoir des cultures. Une halophyte est toute plante qui est en contact par une partie de son organisme avec des concentrations fortes de sel (végétation marine, par exemple).

Classification des plantes selon leur tolérance à la salinité

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité de survivre et de produire dans des conditions de stress salin.

Cependant, les plantes ne sont pas égales face au stress salin et quatre grandes tendances ont été discernées :

- Ñ **Halophytes vraies**, dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sel. Ces plantes présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par ces conditions : *Salicornia europaea*, *Suaeda maritima*.
- Ñ **Halophytes facultatives**, montrant une légère augmentation de la biomasse à des teneurs faibles en sel : *Plantago maritima*, *Aster tripolium*.
- Ñ **Non-Halophytes résistantes**, supportant de faibles concentrations en sel: *Hordeum sp.*
- Ñ **Glycophytes** ou **Halophobe**, sensibles à la présence de sel tels que *Phaseolus vulgaris L.*, *Glycine max.*

Les plantes peuvent être regroupées dans des classes de tolérance tel que décrit dans *Brady et Weil* (2002) : désignée par un niveau de tolérance (sensibles à tolérantes) et de salinité (CE de 2 à 12dS m^{-1}) sont regroupées les espèces dont la croissance est réduite de moins de 10%.

Ainsi, les plantes supérieures, incluant les glycophytes, n'ont pas un métabolisme tolérant aux excès de sel, même si certains organismes montrent une bonne croissance dans de l'eau de mer. L'avantage essentiel des halophytes sur les glycophytes réside dans la gestion des ions en excès dans l'organisme.

Halophytes ou plantes halophiles sont caractérisées par une morphologie et une structure particulière : généralement charnues, stomates peu nombreux et leur cuticule épaisse.

- Les tissus charnus des *Atriplex* leur permettent de diluer le sel dans leur vacuole ;
- le *Tamaris* Excrète le sel grâce à des glandes foliaires ;

- D'autres plantes stockent le sel dans leurs feuilles qui tombent en fin de végétation ;
- D'autre empêche le sel de pénétrer dans les cellules racinaires grâce aux membranes.

I.8. La Résistance à la salinité

a) -L'exclusion

C'est l'accumulation d'éléments toxiques dans les organes souterrains afin d'éviter leur accumulation dans les organes aériens pour certains végétaux, (PETERSON, 1981 in BAHRLS, 1995). Ce phénomène est bien connu chez les halophytes qui secrètent de NaCl en forme de trémies à la surface des feuilles lors des jours ensoleillés (BATAMOONY, 1993).

L'orge est à forte capacité d'exclusion car il a des transporteurs de K^+ et Cl^- et un transporteur externe de Na^+ dans le plasmalemma de ses racines, (SHANNON, 1984). L'exclusion du Na^+ se fait selon un mécanisme qui restreint l'absorption racinaire du Na^+ en diminuant la perméabilité des cellules racinaires au Na^+ et d'autre part, par l'exclusion du Na^+ par la membrane plasmique des tissus conducteurs lors de l'échange K^+/Na^+ .

b)- La Sélectivité

Les tissus foliaires de *Avicennia marina* (halophytes) ont des différentes doses de K^+ et de Na^+ , à une concentration de 100mM, le taux d'absorption en K^+ augmente par rapport au témoin (10mM) et à une concentration de 500mM de sodium le taux d'absorption en K^+ est resté constant: c'est un mécanisme de sélectivité. (BATAMOONY, 1993).

c)- L'Excrétion

Certaines plantes absorbent les éléments toxiques, mais les excrètent à la surface de leurs organes aériens sous forme des sels, (BATAMOONY, 1993), telles que les plombaginacées, Tamarix et Sparthe.

L'appareil excréteur est formé de cellules épidermiques (cas des Thalassi), de glandes sécrétrices spécialisées (spartina) ou de poils sécréteurs (Atriplex).

I.9. Les stratégies d'adaptation : Trois mécanismes de tolérance au sel :

- une homéostasie cellulaire (ionique et ajustement osmotique). (ZHU, 2003),
- un contrôle et une réparation des dommages causés par le stress ou détoxication,
- une régulation de la croissance.

I.9. 1. Homéostasie cellulaire : L'homéostasie ionique atteinte sous stress salin par:

- 1) exclusion des ions Na^+ des cellules par les canaux ioniques: anti-port Na^+/H^+ , ou bien par la limitation d'entrée des ions Na^+ .
- 2) compartimentation de Na^+ dans des vacuoles intracellulaire;
- 3) la sécrétion de Na^+ et régulation du transport ionique.

L'analyse génétique d'un mutant d'Arabidopsis SOS (Salt Overly Sensitive) a permis l'identification des mécanismes (the SOS pathway) qui régulent l'homéostasie cellulaire et la tolérance au sel (ZHU, 2002).

I.9. 2. Séquestration du sodium dans des vacuoles

La compartimentation de Na⁺ dans des vacuoles est une stratégie très importante chez les plantes permettant de maintenir ces ions à une faible concentration dans le cytoplasme et conserver un faible potentiel osmotique cellulaire.

L'exclusion de l'excès de sodium du cytoplasme nécessite la synthèse d'osmolytes compatibles avec la réduction du potentiel osmotique; ce dernier est essentiel pour pouvoir prélever de l'eau dans des conditions de stress salin. Ce processus est coûteux en énergie pour la plante.

Des plantes transgéniques de tomate, accumulent du sodium dans leur feuilles mais pas dans les fruits ou les graines. Ces plantes se sont montrées extrêmement tolérantes au stress salin et conservent dans ces conditions des bonnes qualités de fruit chez la tomate et d'huile chez *Brassica napus* (ZHANG *et al.*, 2001).

I.9. 3. Prélèvement de K⁺

Dans les conditions optimales, les plantes maintiennent un haut ratio cytosolique K⁺/Na⁺. Le stress salin entraîne la diminution de ce ratio, du fait que les ions Na⁺ sont en concurrence avec les ions K⁺, ce qui est défavorable pour les processus biochimiques cellulaires, (CLAUSSEN *et al.* ;1997). Le prélèvement de K⁺ est essentiel pour la turgescence cellulaire et le déroulement des processus biochimiques sous stress salin.

I.9. 4. Biosynthèse d'osmoprotectants

Les gènes impliqués dans la synthèse d'osmoprotectants sont surexprimés sous stress salin (ZHU 2002). Les osmoprotectants compatibles pour différents solutés sous stress salin protègent les plantes par un ajustement osmotique, ce qui maintient la turgescence cellulaire par détoxification des espèces réactives d'oxygène (ROS : Reactive Oxygen Species), et par stabilisation de la structure (quaternaire) des protéines.

Chez des plantes transgéniques, il a été prouvé que l'accumulation de mannitol, de glycine, de bêtaïne et de proline (ZHU, 2002) améliorent leur tolérance au stress salin.

I.9. 5. Synthèse d'antioxydants

Les plantes produisent des espèces d'oxygène actif nommés ROS (radicaux superoxide (O₂⁻), peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), et radicaux hydroxyl (OH)) en réponse à un stress salin (HERNANDEZ *et al.*, 2000). Les ROS causent d'importants dommages dans des lipides membranaires, des protéine et acides nucléiques. La détoxification des ROS constitue un élément clé de défense des plantes contre les stress abiotiques dont le stress salin. (LAZREK, 2008)

I.9. 6. Régulation de croissance

Maintenir une croissance racinaire constitue un caractère adaptatif dans un environnement de faible disponibilité en eau tel que le milieu salin. L'allongement racinaire peut être dû à une augmentation d'activité des enzymes impliquées dans la construction du cytosquelette: par exemple la xyloglucan endotransglycosylase (WU *et al.*, 1994). L'autre cause peut être à l'accumulation de proline (Ober et Sharp 1994). Ces deux actions sont régulées par l'acide abscissique (ABA), qui est induit par le stress salin (JIA *et al.*, 2002)).

Conclusion

La gestion commune des sols et des eaux est incontournable. La mise en place d'observatoires de la qualité des sols et des eaux dans les zones irriguées apparaît donc nécessaire pour assurer la durabilité du système de production. Cependant, la prédiction de l'aspect géochimique de la salinité des eaux est une démarche originale qui pourrait s'avérer fructueuse pour une meilleure connaissance des conséquences de cette salinité sur les sols et l'environnement dans la région d'étude. (LE BORGNE, 2010).

Chapitre II

Les légumineuses et la Lentille

(Lens culinaris L)

II.1. Les légumineuses

A- Généralités

Les légumineuses constituent une immense famille de plantes dont le seul caractère commun est d'avoir un ovaire libre, constitué par seul carpelle qui donne un fruit appelé gousse ou légume. On compte 475 genres et environ 16400 espèces se répartissant en trois familles : *Mimosoideae*, *Caesalpinoideae* et *Papilionoideae* (ou Fabacées) (COME *et al.*, 2006).

Les Fabacées avec 10000 espèces représentent d'ailleurs la plus grande partie des légumineuses. On y trouve des arbres, la plupart exotiques, voire des lianes, mais surtout de nombreuses espèces herbacées vivaces ou annuelles. (GUIGNARD *et al.*, 2004). Souvent volubiles et grimpantes, soit par enroulement (*Phaseolus*, *Physostigma*), soit grâce à des vrilles foliaires (*Lathyrus*, *Pisum*, *Vicia*).

Beaucoup d'espèces sont cultivées pour leurs graines qui sont riches en amidon (Fève, Haricot, Lentille, Pois, Pois chiche), en huile (Arachide, Soja) ou en protéines (Fenugrec, Lupin, Soja) les trèfles, les luzernes, le sainfoin et le lotie servent à l'alimentation du bétail (COME *et al.*, 2006).

Les légumineuses entretiennent une relation très privilégiée avec la rhizosphère qui entoure leurs racines. (WALIGORA *et al.*, 2008). Elles sont principalement cultivées pour leur capacité à fixer l'azote atmosphérique, et pour rompre les successions céréalières préjudiciables aux rendements et aux productions à travers les assolements. (HAMADACHE *et al.*, 1997).

Parmi les représentants de cette famille, on distingue les protéagineux à graines (pois, haricot, féverole, pois chiche et lentilles), les protéagineux fourragers (luzerne et trèfle), et les oléoprotéagineux (soja et arachide). Au total, plus de 40 espèces et variétés sont cultivées dans le monde.

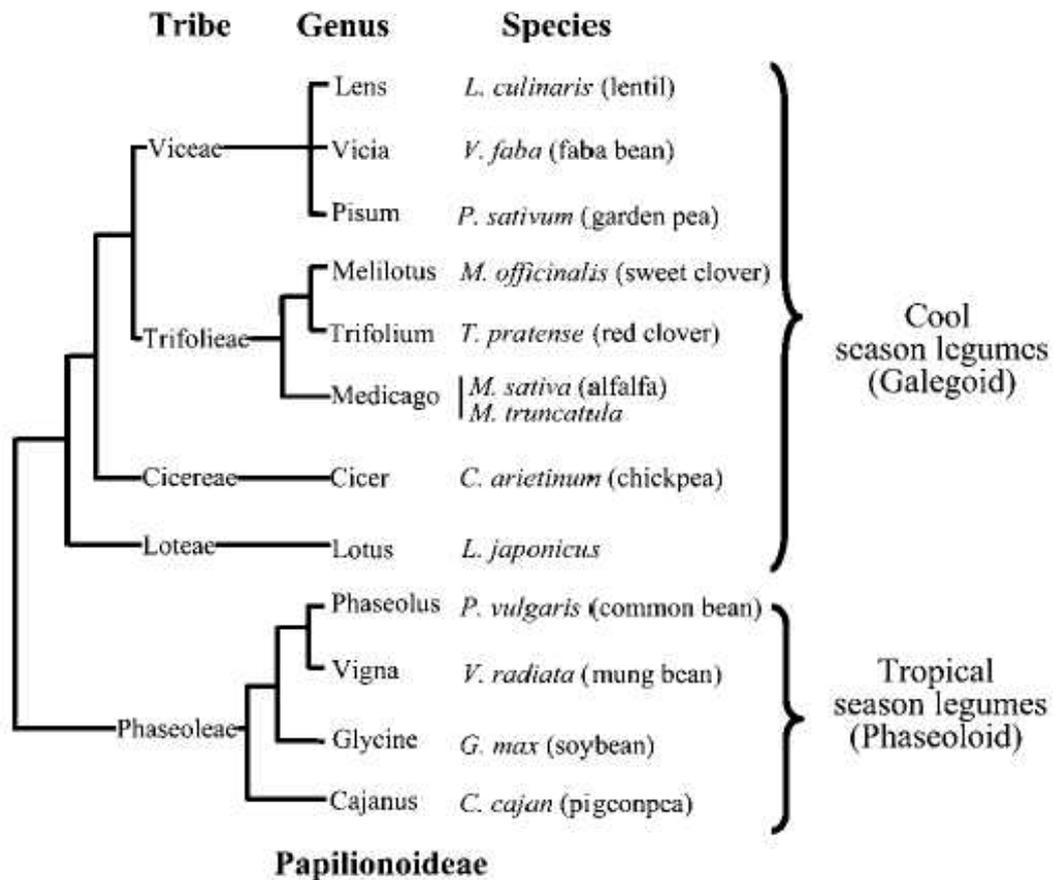


Figure 02: Classification des légumineuses; famille des Papilionoideae (ZHU *et al.*, 2005).

A- Intérêts des légumineuses

1. Intérêt scientifique

Les légumineuses alimentaires tiennent une part très importante des travaux accomplis dans des domaines aussi divers que l'agronomie, la génétique, l'entomologie, la phytopathologie et la physiologie (BAUDOIN *et al.*, 2001).

Les principaux objectifs de recherche, sur les légumineuses à graines, cherchent à la fois à sécuriser la nodulation, à assurer la complémentarité entre les voies d'assimilation et de fixation de l'azote et à assurer une meilleure remobilisation de l'azote des feuilles et des tiges vers les graines. Le point fort des légumineuses est leur coût énergétique faible et leur faible contribution aux gaz à effets de serre, directement liés à l'absence de fertilisation azotée (PINOCHET *et al.*, 2006).

2. Intérêt agronomique

Leur intérêt agronomique provient en premier lieu de leur aptitude à la fixation symbiotique de l'azote, qui leur permet de produire en abondance des protéines végétales même en l'absence de fertilisation azotée, d'où leur intérêt également dans le cadre d'une agriculture "durable" (réduction des intrants, préservation et enrichissement des sols en azote). (JOURNET *et al.*, 2001). Elles exercent une influence très favorable sur la fertilité des sols grâce à la

symbiose fixatrice d'azote avec les souches de *Rhizobium*. Elles jouent par conséquent un rôle primordial dans la rotation des cultures (BAUDOIN *et al.*, 2001).

3. Intérêt écologique

Dans les pays développés, la sur-utilisation des engrais azotés chimiques a conduit à une pollution des sols, des nappes phréatiques et cours d'eau. Aujourd'hui, la pollution par les nitrates est un problème réellement inquiétant, et la réintroduction de légumineuses s'avère être un bon moyen de limiter la pollution.

En effet, la décomposition de la plante ou de ses résidus se fait progressivement, et est mieux adaptée à l'utilisation de l'azote par d'autres plantes. Les pertes azotées par lessivage sont donc limitées, et l'apport d'engrais chimique diminué.

4. Intérêt alimentaire

De nombreuses espèces cultivées appartiennent à la famille des Légumineuses. Elles constituent une source très importante de protéines et de lipides dans l'alimentation humaine et animale (JOURNET *et al.*, 2001). Elles constituent un apport de protéines peu coûteux mais néanmoins important (18% à 30% de la graine sèche) (BAUDOIN *et al.*, 2001).

II.2. L'espèce étudiée : La lentille « *lens culinaris L* »

La lentille fait partie de l'alimentation humaine depuis la préhistoire. Trônant parmi les légumineuses ayant la plus petite taille, la lentille a l'avantage de nécessiter un temps de cuisson plus court que la majorité des légumineuses.

Durant la dernière décennie, on estime que la consommation mondiale de lentilles a augmenté d'environ 3 % par année. (SASKATCHEWAN AGRICULTURE and FOOD, 2000).

II.2.1. Classification

Règne :	<i>Plantae</i>
Super division :	<i>Spermatophyta</i> - semences de plantes
Division :	<i>Magnoliophyta</i> - Plantes en floraison
Classe :	<i>Magnoliopsida</i> – dicotylédones
Sous –classe :	<i>Rosidae</i>
Ordre :	<i>Fabales</i>
Famille :	<i>Fabaceae</i>
Genre :	<i>Lens</i>
Espèce :	<i>culinaris</i>

(<http://fr.wikipedia.org/wiki/classificationdelentille>)

II.2.2. Centre d'origine de l'espèce

L'ancêtre du *L. culinaris* est le *L. orientalis* (Ladizinsky *et al.*, 1984). Le centre d'origine du *L. culinaris* se situe au Proche-Orient et la mise en culture de l'espèce a débuté dans cette

région (Zohary et Hopf, 1973). Selon Cubero (1981), la lentille s'est d'abord propagée jusqu'à la vallée du Nil, puis à l'Europe centrale et a atteint le sous-continent indien et le reste du bassin méditerranéen vers la fin de l'âge de bronze.

II.2.3. Biologie de l'espèce

Plante herbacée annuelle diploïde ($2n = 14$). La tige de la lentille est mince, atteint rarement plus de 45 cm de hauteur et a une croissance indéfinie (SASKATCHEWAN PULSE GROWERS, 2000). Les deux premiers nœuds de la tige sont vestigiaux et se situent au niveau du sol ou sous la surface.

Les feuilles sont pennées et comportent jusqu'à 10 paires de folioles très étroites terminées en vrilles. La première fleur de la tige principale est située à l'aisselle du 11e, 12e ou 13e nœud non vestigial et sont de couleur blanchâtres veinées du violet, (VANDENBERG et SLINKARD, 1990).

Les gousses, aplaties, sont isolées ou disposées en paires et apparaissent à l'aisselle du 11e, 12e ou 13e nœud et des nœuds suivants. Chaque gousse possède un court pédicelle et renferme une ou deux petites graines en forme de loupes. Le poids de 1000 graines varie de 30 à 70 g chez les cultivars canadiens, mais il est bien inférieur chez les cultivars indiens et chez la forme sauvage de l'espèce. (VANDENBERG ET SLINKARD, 1990).



Figure 03 : Schéma et photo de la lentille (*lens culinaris L*).adess

II.2.4. Evolution de la culture de la lentille en Algérie

La lentille a été cultivée avant 1830 dans les jardins des fellahs (surtout en Kabylie), jusqu'à 1940 une étude a révélée que les lentilles rencontrées en Afrique du nord appartiennent à deux sous espaces : la lentille petite verte de puy (*Lens erosperma* vra. *Dupuyensis* Barul.) a été la première des variétés européenne introduites en grande culture en Algérie. Dans certaines régions des cultures de petite de lentille large blonde et verte de puy ont coexisté et des croisements naturels se sont produits qui ont donnée naissance à la « lentille large verte d'Algérie », à partir de cette dernière, il y a eu une sélection et une amélioration de la « lentille verte d'Algérie ».

II.2.5. Exigences de la culture

Le zéro de germination de la lentille est de 4 à 5°C. le cycle végétatif de la plante est très court (de 120 à 150 jours). (MUEHLBAUER *et al.*, 1980).

La lentille est peu exigeante sur la nature du sol; cependant elle préfère les sols légers et calcaires; assez résistante à la sécheresse et aux températures élevées.

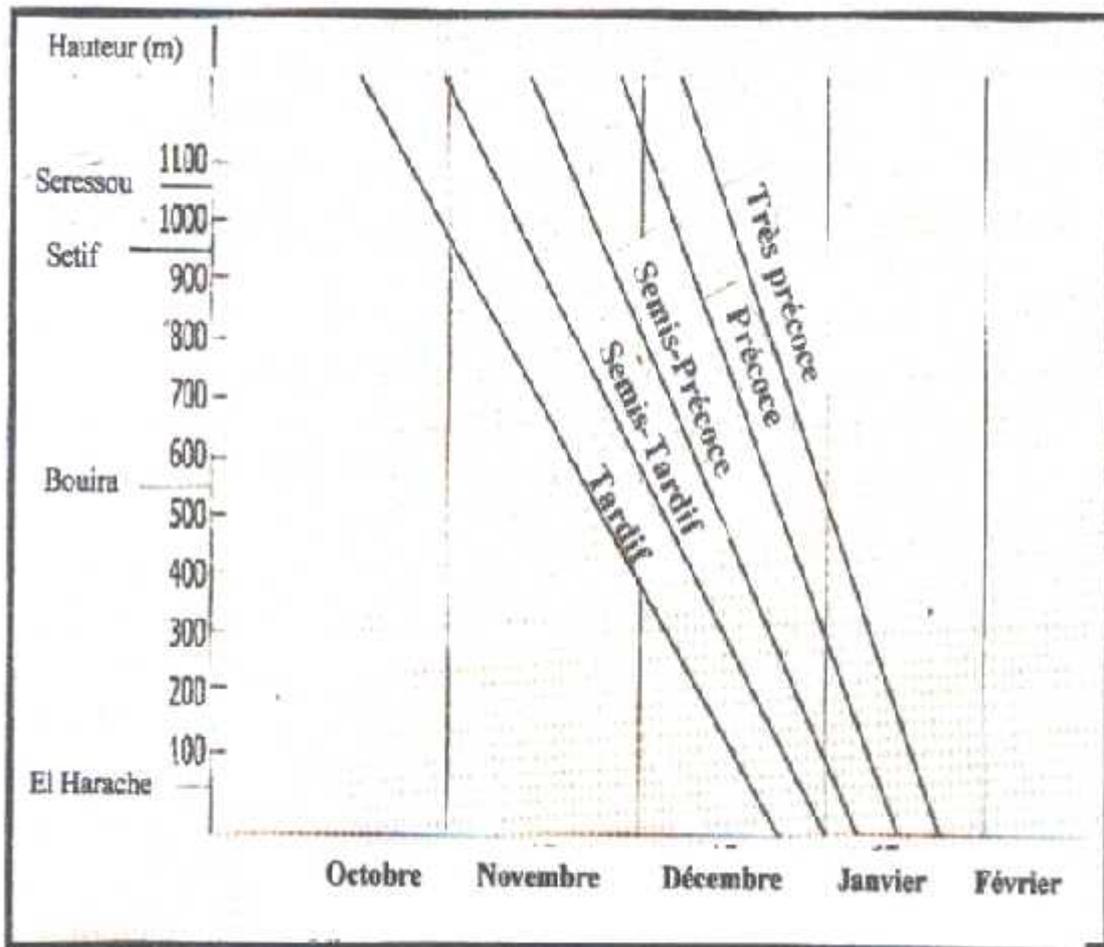


Figure 04: Périodes de semis de la lentille selon la variété et l'altitude (HAMADACHE, 2000).

II.3. La fixation de l'azote

II.3.1. L'azote

L'azote est l'un des éléments nutritifs majeurs utilisés par les plantes. C'est le quatrième constituant des plantes qui est utilisé dans l'élaboration de molécules importantes comme les protéines, les nucléotides, les acides nucléiques et la chlorophylle (EPSTEIN, 1972).

L'azote favorise l'utilisation des hydrates de carbone, stimule le développement et l'activité racinaire, favorisant ainsi l'absorption des autres éléments minéraux et la croissance des plantes.

Il est essentiel pour la synthèse des enzymes de l'ADN et de la photosynthèse (LAMAZE ET COL., 1990). Les plantes absorbent l'azote sous forme de nitrates (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+).

II.3.2. Fixation d'azote

Parmi les éléments nutritifs nécessaires, celui qui est le plus souvent limitant pour la croissance des plantes est l'azote. La majeure partie de cet élément se trouve sous forme d'azote gazeux (N_2) inaccessible aux animaux et aux plantes (PUJIC et NORMAND, 2009). La fixation

biologique de l'azote relève uniquement du domaine des procaryotes grâce à la nitrogénase, une enzyme catalysant la réduction de l'azote atmosphérique en ammoniac (WEYENS *et al.*, 2010).

Quelques bactéries fixatrices d'azote sont libres dans la rhizosphère (*chromobacter*, *Acetobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Azomonas*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Derxia*, *Enterobacter*, *Herba spirillum*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Rhodospirillum*, *Rhodopseudomonas* et *Xanthobacter*) (TILAK *et al.*, 2005).

En revanche d'autres bactéries fixatrices d'azote sont symbiotiques et fixent l'azote seulement en association avec certaines plantes. Il s'agit des *Rhizobia* (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azorhizobium*, ...) (TILAK *et al.*, 2005) associées aux légumineuses et des souches de *Frankia*, bactéries filamenteuses sporulantes associées à des plantes dites actinorhiziennes (GRAY et SMITH, 2005).

II.3.4. La symbiose

Le mot symbiose provient du grec sym (avec) et biose (vie), d'où sa définition générale très large: vie avec ou vie en commun (LEFFEVRE, 2004). La symbiose est une association de deux ou plusieurs organismes différents, qui leur permettent de vivre avec des avantages pour chacun (BROUGHTON, 2000).

- **La Symbiose *Rhizobium* légumineuse** : Les *Rhizobiums* sont des bactéries symbiotiques hétérotrophes. Le phénomène de la symbiose repose sur un échange mutuel entre la plante et la bactérie; les avantages que les deux organismes tirent de leur association sont :

- une source d'azote illimitée est fournie à la plante par les bactéries,
- une source de glucides est fournie par la plante aux bactéries.

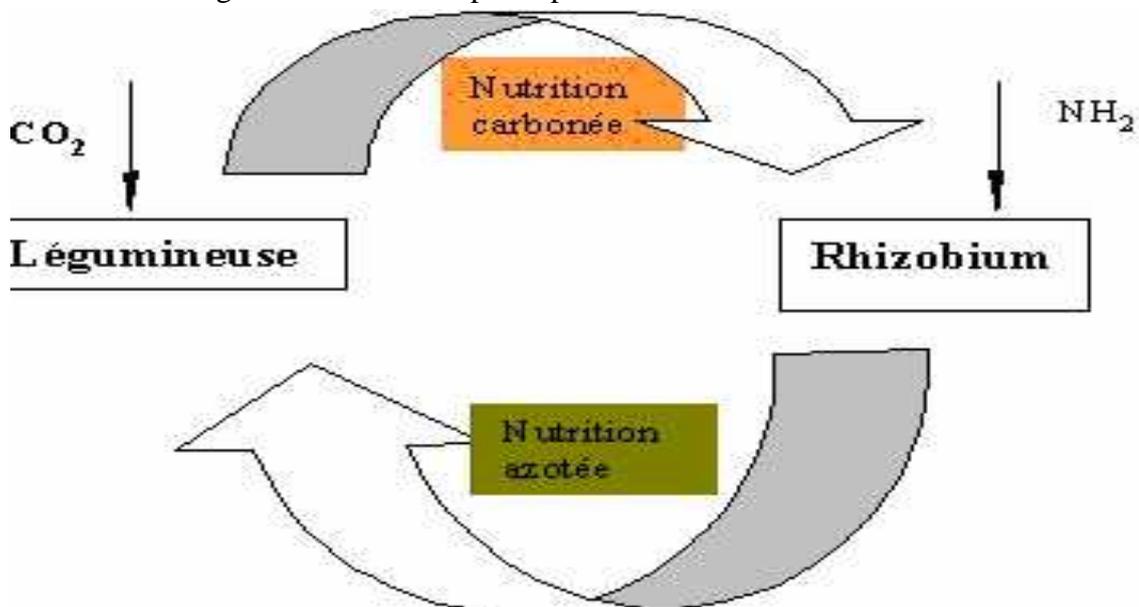


Figure 05 : le mutualisme *Rhizobium* légumineuse.

(<http://fr.wikipedia.org/wiki/Rhizobiumlégumineuse>)

- Les fixateurs symbiotiques

La réduction de l'azote étant coûteuse en énergie, les systèmes les plus efficaces sont ceux qui permettent un couplage entre la photosynthèse et la fixation biologique de l'azote.

Dans ces associations fixatrices d'azote, le microorganisme induit l'apparition de structures différenciées, appelées nodules, chez le partenaire végétal, et lui fournit une grande partie de l'azote nécessaire à sa croissance.

C'est le cas des systèmes associant des plantes de la famille des légumineuses et certaine bactérie Gram négatif, communément et collectivement appelées les rhizobia ou bactéries nodulantes des légumineuses (BNL) ;(MOULIN, 2002) ; et d'Actinomycètes du genre *Frankia* (bactérie Gram positif, filamenteuses et sporulantes) qui nodulent des plantes ligneuses appartenant à différentes familles de dicotylédones, dont les genres *Alnus*, *Eleagnus*, *Casuarina* ou *Myrica* (BENSON et SILVESTER, 1999).

En outre, plusieurs espèces de *Parasponia* de la famille des Ulmaceae, peuvent également développer des nodules fixateurs d'azote avec certaines bactéries (DAVEY *et al.*, 1993).

- **Facteurs affectant la fixation biologique de l'azote atmosphérique chez les légumineuses**

La légumineuse cultivée est extrêmement sensible aux contraintes biotiques (maladies, ravageurs...), ainsi qu'aux contraintes abiotiques (DITA *et al.*, 2006). Certaines de ces contraintes, telles que la sécheresse, les températures extrêmes et la haute salinité limiteraient fortement la productivité des cultures.

La salinité du sol peut inhiber la croissance et réduire le rendement du légumineuse à cause d'une toxicité et d'un déséquilibre ioniques, et d'une réduction du potentiel hydrique de la plante (ASHRAF, 1997 ; JANSA *et al.*, 2011). Le haricot est extrêmement sensible à la salinité et on estime qu'environ 5 à 30% des zones de production du haricot sont affectées par la salinité du sol (CIAT, 1992 ; JANSA *et al.*, 2011).

Les stress environnementaux comme la salinité, l'acidité, la pauvreté en phosphore ou la sécheresse contrarient le développement et le fonctionnement des nodosités. (DUHOUX, 2004). Le stress salin affecte à la fois les populations rhizobiennes, la légumineuse hôte et la relation symbiotique. L'initiation nodulaire est extrêmement sensible au NaCl par réduction des sites d'infection de la racine, du nombre des poils radiculaires et de la proportion de ceux qui portent les cordons d'infection.

L'acidité du milieu modifie le nombre de nodules, une faible baisse pouvant le réduire fortement. De nombreux chercheurs ont montrés que le chaulage améliore la nodulation (WEY et OBATON,1978 ; SINGH *et al.*, 1985). IL apparaît que l'influence du PH sur la nodosité et l'activité du rhizobium est différente selon le climat.

II.3. 5. Physiologie de la symbiose

La symbiose commence par l'attachement des bactéries (ou microsymbiont) aux poils absorbants des racines de la plante légumineuse en germination. On pense que cette liaison initiale dépend d'une reconnaissance cellulaire entre des molécules de surface comme des glycoprotéines des bactéries et de la plante.

- La bactérie est encapsulée dans une poche de la paroi cellulaire et portée dans les profondeurs de la racine par la formation d'un filament infectieux constitué principalement de

cellulose. Les cellules corticales sur l'extérieur de la racine se dédifférencient pour former un méristème, un tissu végétal formé de cellules indifférenciées, siège de divisions rapides et nombreux, situé dans les régions de croissance de la plante, qui grandit et fait saillie pour former une nodosité.

Les filaments infectieux qui prolifèrent libèrent alors les bactéries dans le cytoplasme de cellules hôtes, après avoir été recouvertes d'une membrane spéciale synthétisée par l'hôte, connues sous le nom de bactéroïdes.

Au sein de cet environnement extrêmement protecteur, les bactéries se différencient finalement pour atteindre un stade de fixation de l'azote, en dérégulant les gènes de la nitrogénase et des cytochromes spécifiques des bactéroïdes. (PELMONT, 1995).

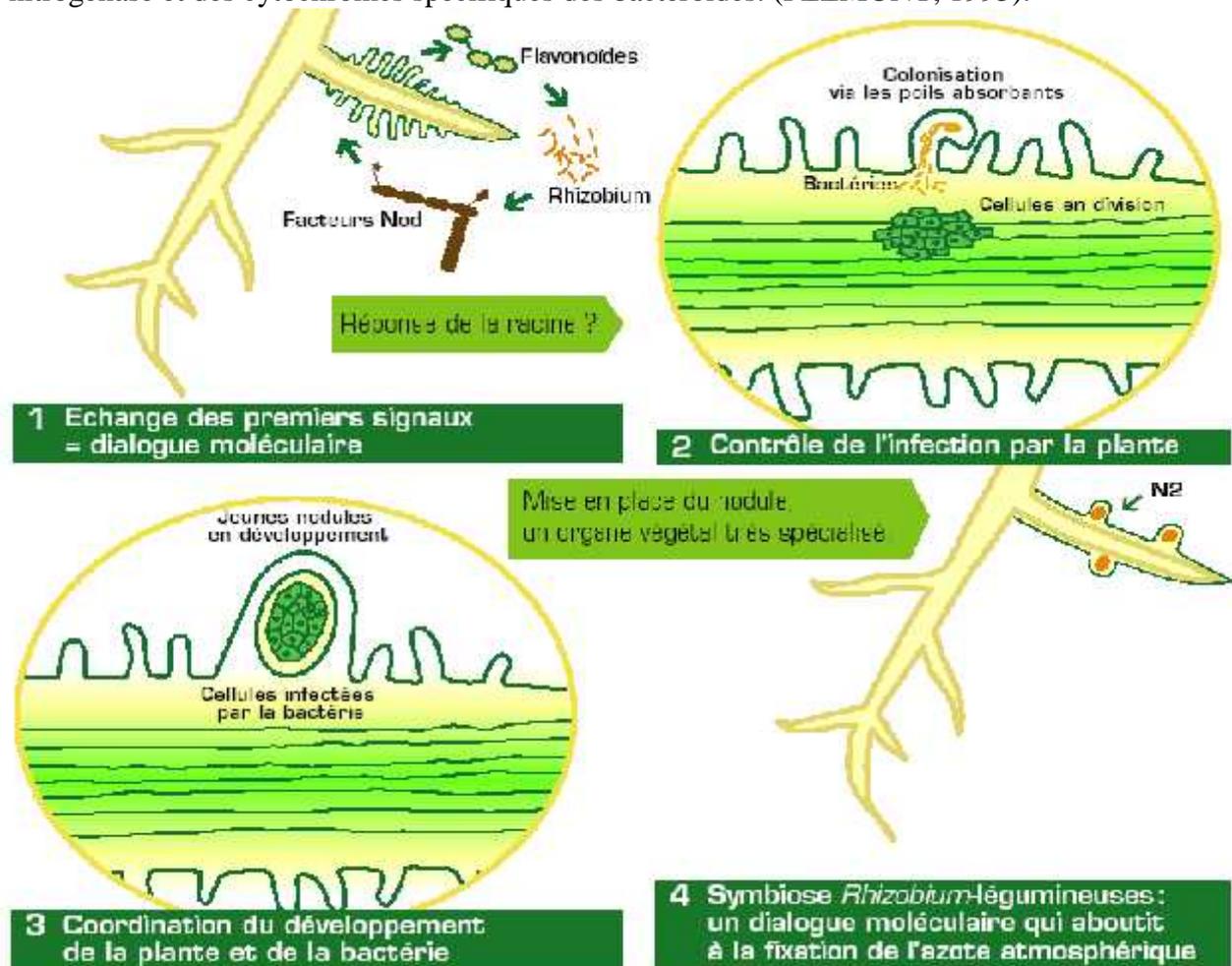


Figure 6: Dialogue moléculaire entre la plante et la bactérie lors de la mise en place d'une association symbiotique fixatrice d'azote. Source : <http://www.crdp-toulouse.fr>.

La plante produit des composés flavonoïdes qui attirent et activent les bactéries fixatrices d'azote autour des racines. Suite à cela, les bactéries s'agglutinent sur les poils absorbants et forment un cordon infectieux qui va pénétrer dans la racine. Arrivées au niveau des vaisseaux conducteurs les bactéries provoquent le développement d'une tumeur qui formera la nodosité. (HYNES et O'CONNELL, 1990).

Certaines cellules de la racine vont se dédifférencier et retourner à l'état de méristème pour se diviser et rapidement la nodosité se forme.

La bactérie colonise la rhizosphère et entre en contact avec le poil racinaire (A). Les facteurs Nod induisent la courbure du poil racinaire ce qui permet la création d'une zone confinée pour la bactérie qui initie l'infection (B). La mise en place du cordon d'infection suit le déplacement du noyau vers la base du poil (C).

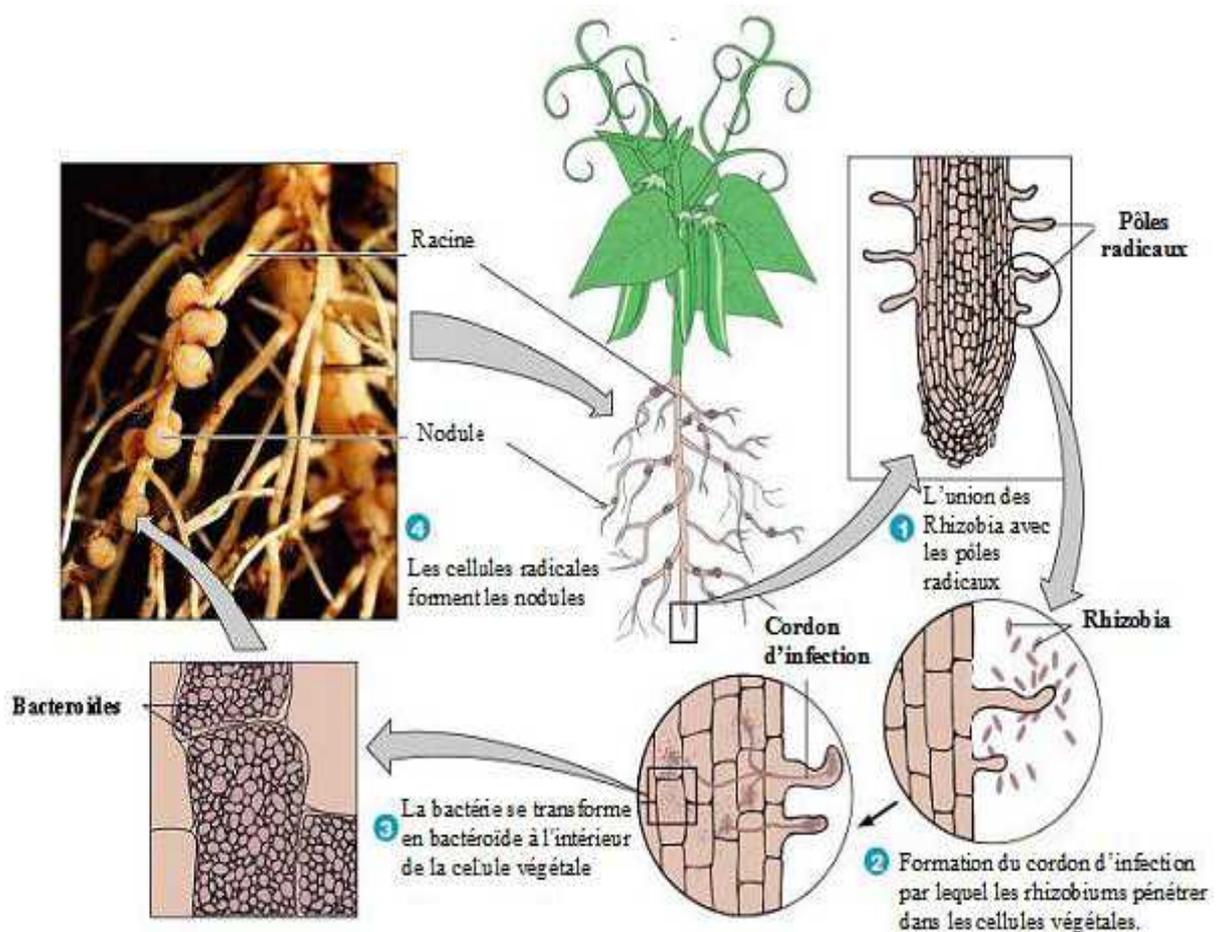


Figure07 : Différentes étapes de l'établissement de la symbiose rhizobia-légumineuse.

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Rhizobiumlégumineuse>

D'après Perret et col, 2000, c'est au centre de la nodosité que les bactéroïdes vont fixer le diazote. Pour cela, ils synthétisent en collaboration avec la plante, une protéine, la leghémoglobine, dont le rôle est de fixer l'oxygène pour protéger la nitrogénase (les bactéroïdes produisent l'hème tandis que la plante produit la globine). Cette protéine peut représenter plus de 40 % des protéines d'une nodosité. Ce pigment présente la particularité de ne pas fixer entièrement l'oxygène ce qui permet aux bactéries de continuer la respiration sans gêner la fixation d'azote.

II.3.6. Biochimie de la Fixation de l'azote

Ñ **La nitrogénase** : Dans l'industrie, la fixation de l'azote se fait en présence de fer agissant comme catalyseur, à 500°C à une pression de 300 atm. Par conséquent, le processus

biologique de fixation de l'azote nécessite un enzyme complexe appelé "complexe nitrogénase" qui réalise cette transformation fondamentale et il est composé de deux protéines :

1) Une dénitrogénase réductase : (nitrogénase I) qui fournit des électrons de haut pouvoir réducteur, à deux sous unités identiques, (HOPKINS, 2003).

2) Une nitrogénase : ou molybdoprotéine (MoFe protéine) c'est la composante principale du système enzymatique formée de quatre sous unités (tétramérique) , chaque monomère contient un centre (4 Fe - 4 S) reliés entre eux deux par deux, ce tétramère est associé à un cofacteur protéique qui contient 8 Fe et 2 atomes de molybdène (Mo), qui utilise ces électrons pour réduire N₂ en NH₃. (LECLERC, 1995 et HOPKINS, 2003).

Le transfert des électrons de la réductase à la nitrogénase est couplé à l'hydrolyse de l'ATP par réduction.

Ñ **La leghémoglobine :** Le complexe nitrogénase est très sensible à l'inactivation par O₂. La leghémoglobine abaisse fortement la concentration d'O₂ libre dans les nodules de la plante en le fixant et ne peut donc plus interagir avec la nitrogénase pour l'inhiber. Le site actif contenant le molybdène du complexe nitrogénase est spécifiquement conçu pour réduire l'azote moléculaire (N₂), mais peut être empoisonné par l'oxygène moléculaire libre (O₂ libre).

Néanmoins, les bactéroïdes ont également besoin, comme la plante hôte, d'un ravitaillement régulier en oxygène pour leur métabolisme. La plante hôte, répond à ces exigences en synthétisant de grandes quantités de leghémoglobine, qui va porter l'oxygène libre à un niveau suffisamment faible pour ne pas endommager la nitrogénase.

Bien que la plante synthétise le polypeptide de la leghémoglobine, le cofacteur constitué par l'hème est fourni par les bactéries elles-mêmes (la leghémoglobine est constituée de deux parties : un polypeptide et un hème). (LECLERC, 1995 et HOPKINS, 2003).

Ñ **Assimilation de l'ammonium :** Le NH₄⁺ est pris en charge, à l'intérieur de la plante, par un système enzymatique, GS-GOGAT soit deux enzymes travaillant à la chaîne. La 1^{ère} (GS pour Glutamine Synthase) rajoute un NH₃ à une molécule de glutamate pour former la glutamine qui transfère un de ses groupements azotés à un acide céto-glutamate grâce à la seconde enzyme GOGAT (pour Glutamine OxoGlutamate Amino Transférase).

On obtient alors deux molécules de glutamate, les réactions peuvent alors s'enchaîner en boucle. (BREWIN ET COL.,1992). Les plantes symbiotiques fixent ainsi de 300 à 400 kg de diazote par hectare et par an.

II.3.7. Spécificité de la symbiose

La symbiose légumineuses – *Rhizobium* est très spécifique car un *Rhizobium* donné n'est capable d'effectuer une symbiose fixatrice d'azote que si l'autre partenaire appartient à son spectre d'hôte. Et le contraire est juste. Les amplitudes des spectres des légumineuses et des rhizobia sont très variables.

On retrouve des associations très spécifiques pour le partenaire bactérien, tel que *Azorhizobium caulinodans* qui ne s'associe qu'avec *Sesbania rostrata* (Dreyfus et col, 1988).

D'autres symbiotes bactériens présentent un spectre d'hôte peu spécifique, comme *SinoRhizobium meliloti* qui s'associe avec les espèces des genres *Medicago*, *Meliloti* et *Trigonella*. Par ailleurs, des études de spectre d'hôte ont révélé qu'en proportion peu de

rhizobia ne s'associait qu'avec une seule espèce de légumineuse; la plupart des rhizobia pouvant établir une symbiose avec différents partenaires végétaux (ZAHKAN, 2001)..

II.3.8. Génétique de la Fixation de l'azote: les gènes impliqués.

- gène *sym* : pour la formation de nodosités symbiotique fonctionnelles fixant l'azote.
- gène *nod* : pour l'initiation et les premières étapes de la formation des nodosités, d'autres gènes sont également impliqués dans la formation de nodosités : les gènes *nol* et *noe*.
- gène *fix* : pour les étapes tardives de construction d'une nodosité capable de fixer l'azote.
- gène *nif* : gènes codant pour les trois sous unités hautement conservées de la nitrogénase (réduisant l'azote moléculaire en ammoniac), ainsi que pour des protéines auxiliaires nécessaires au fonctionnement de la nitrogénase.

Ces gènes symbiotiques sont induit seulement lorsque les bactéroïdes peuvent fixer l'azote, c'est-à-dire quand la bactérie peut nodulé la plante.(PERRET *et al.*, 2000).

PARTIE
EXPERIMENTALE

Chapitre I

Matériel et Méthodes

Introduction

Le travail expérimental est réalisé en deux phases successives et complémentaires:

• **La 1^{ère} phase expérimentale** se déroule au laboratoire de la station de l'Institut national du sol et d'irrigation et de drainage (INSID) de ksar chellala (W de Tiaret), dont l'objectif est l'étude spécifique du comportement germinatif, de quatre génotypes de lentille (locales et introduites) en situation de stress salin à doses croissantes.

• **La 2^{ème} phase expérimentale** est une conduite en pots sous serre ; afin d'évaluer avec le plus de précision l'effet du stress salin sur les quatre variétés de lentille cultivées, utilisées à travers la mesure de la biomasse aérienne le nombre des nodules des racines, la teneur en eau et la teneur en éléments biochimiques tels que la proline, les sucres solubles et les pigments chlorophylliens contenus dans les feuilles pour des plants conduits en substrat salé et non salé .Ainsi que la teneur des feuilles en azote. L'étude a porté sur 04 variétés de lentille. (Métropole, Balkan, Syrie Nt et Ibela).

Tableau 03: Caractéristiques agronomiques du matériel végétal utilisé

Génotype	Origine	Phénologie (Cycle)	Nbre graines/gousse	gousses / inflorescence	Poids de 100 graines (g)	Tolérance Aux maladies
Métropole	Sélection Locales	1/2 tardive	1 à 2	2 à 3	5,64	Tolérante
Balkan	ICARDA	1/2 tardive	1 à 2	2 à 3	6,07	Moyenne ment tolérante
Syrie NT	ICARDA	Précoce	1	1	4 ,21	Moyenne ment tolérante
Ibela	Espagne	1/2 précoce	1	1	4 ,21	peu tolérante

(Source : ITGC, 2014)

Le déroulement de l'expérimentation

2.1. Le test de germination :

Il est nécessaire voire indispensable d'étudier le comportement germinatif, compte tenu de l'importance de la phase germinative des semences dans le déroulement des stades ultérieurs de développement de toute espèce végétale notamment en zone aride.

a) Dispositif expérimental

Le test est réalisé dans des boîtes pétri en verre de 9cm de diamètre disposées en trois répétitions dont chacune compte quatre lots soit quatre doses de sel de NaCl (Témoin, 0mM/l, 50 mM/l, 75mM/let 100mM /l). Chaque lot est composé de quatre boîtes soit quatre génotypes dans chaque boîte sont mises 10 graines à germer.

b) Les conditions de l'expérimentation

A cet effet, des graines sont choisies puis désinfectées par traitement à l'eau de javel (5 %) puis rincées à l'eau distillée et enfin sont mises à germer dans des boîtes de Pétri tapissées de papier filtre imbibé quotidiennement par 4ml des solutions et sont mises dans une étuve à une température de 20 - 25°C.

La germination correspond à l'apparition de la radicule, les observations sont faites quotidiennement pour les différents milieux pendant une semaine.

2. 2. L'essai en pots sous serre (sous abri)

2.2.1. Localisation de l'essai

L'essai est réalisé dans un terrain agricole au sein de l'INSID de Ksar chellala (Tiaret), dans une serre en plastique ayant une longueur de 6m, une largeur de 3m et une hauteur de 2.80m et qui est orientée est ouest et éclairée naturellement avec une photopériode moyenne de 12h.

Les conditions sont semi contrôlées avec notamment une température moyenne diurne de 16 à 18°C et nocturne de 6à 8°C. L'humidité moyenne étant de 60 à 70%.

Cet essai est conduit dans des cylindres en P.V.C de 40cm de longueur et de 20cm de diamètre intérieur. Les pots cylindriques sont remplis chacun d'un substrat composé d'un mélange de sable, de matière organique et de terre avec les proportions (3V, 1V, 1V) ayant une capacité de rétention d'eau faible et une forte infiltration.

Le sable utilisé est préalablement lavé, rincé abondamment à l'eau distillée pour éliminer les chlorures et les carbonates, puis le sol reconstitué est traité par un fongicide et un insecticide avant d'être séché à l'air.

2.2.2. Mise en place de l'essai

a) le semis : Le semis est effectué le 28/02/2014 à raison de 04 graines par cylindre à 1 cm de profondeur. On procède à une irrigation à la capacité au champ du substrat soit 350 ml/48h et par pot, à l'aide d'un arrosage pratiqué 3 fois par semaine, 2 fois à l'eau déminéralisée et une fois à la solution nutritive de type HOAGLAND et al., (1938).

Les pots témoins sont irrigués seulement à l'eau distillée pendant la période d'application du stress. Par contre, les pots stressés sont irrigués avec une solution saline de 50mM/l, 75mM/l et 100 mM/l de NaCl.

b) Le dispositif expérimental :

Les cylindres sont disposés selon un dispositif aléatoire à deux facteurs (la variété et le traitement) selon trois répétitions (figure 08).

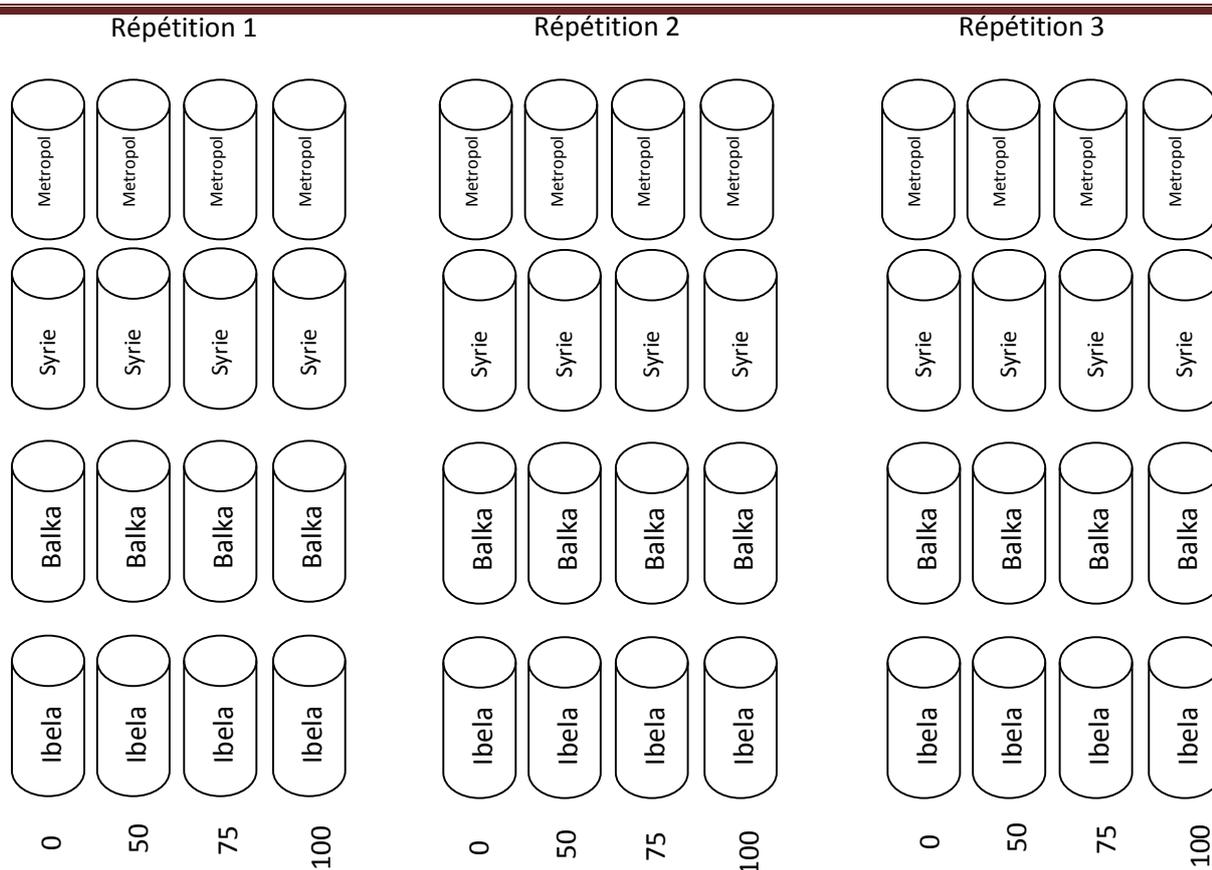


Figure 08 : Schéma du dispositif expérimental a 02 facteurs (salinité et génotype)



Figure 09 : Schéma du dispositif expérimental au stade levé a 02 facteurs (salinité et génotype)



Figure 10 : Schéma du dispositif expérimental au stade début floraison a 02 facteurs (salinité et génotype)

3. Les analyses et mesures effectuées : (mesures effectuées après 7 semaines de stress salin.

Les mesures et dosages sont effectués au stade « début de floraison » dans les **laboratoires de la faculté SNV de l'université Ibn khaldoun de Tiaret**. Les analyses ont ciblés principalement les paramètres morpho-physiologiques de la partie souterraine et les paramètres morpho-physiologique et biochimiques de la partie aérienne.

Les analyses de sol

La salinité d'un sol s'apprécie par la conductivité électrique dont la valeur croît en fonction de la concentration en sels solubles dans le sol.

Tableau 04. La CE et le pH du substrat utilisé selon les concentrations.(ms/cm).

Génotype	CE et pH	Témoin 0mM NaCl ¹	50mM	75 mM	100 mM
Métropole	CE ($\mu\text{s/cm}$ de 1/5,%)	860.5	996.5	1110	1487
	pH	7.5	7,5	7,8	8,1
Balkan	CE (ms)	780	1113	1234	1568
	pH	7,3	7,7	7,9	7,91
Syrie NT	CE (ms)	784	987.3	1124	1624
	pH	7,5	7,7	7,9	8,2
Ibela	CE (ms)	683.5	878	1047	1325
	pH	7,3	7,5	7,6	8,3

Remarque: En début d'expérimentation, le pH = 5.59 et la C.E =951 $\mu\text{s/cm}$ de 1/5.

Les analyses de sol

Sont effectué au niveau de laboratoire de l'Inside station de Ksar Chellala Tiaret par l'utilisation de pipete de Robinson et d'autres appareils tell que le calcimetre.

Tableau 05 : la granulométrie du sol utilisé

Echantillons	Granulométrie				
	Argile %	Limon fin %	Limon grossier %	Sable fin %	Sable grossier %
1	13,61	02,52	01,89	24,31	57,67

Tableau 06 : les analyses du sol utilisé

Echantillons	pH	CE $\mu\text{s/cm}$ 1/5	Mat org %	Calcaire %		CEC meq /100g de sol
				total	Actif	
1	5,95	951	0,30	08,28	2,38	10,25

a) La partie sous terrainne

Les racines sont récupérées et soigneusement lavées à l'eau pour extraire les résidus du substrat afin de procéder à l'identification des caractéristiques morphologiques suivantes :

- **le nombre, la couleur et la taille des nodules racinaires:** A la loupe **binoculaire**, on compte leur nombre manuellement par unité de surface ou de poids frais des racines.
- **La longueur de l'axe principal** : Elle est mesurée avec une règle graduée en cm à partir du collet jusqu'à son extrémité inférieure.
- **Le volume des racines:** Il est déterminé par immersion dans de l'eau dans une burette graduée où le volume d'eau déplacé correspond à celui des racines selon le principe de la poussée d'Archimède : (technique de MUSIRK *et al*, 1965).
- **Le poids sec des racines** : Apres avoir effectué toutes les mesures sur les racines, elles sont mises dans l'étuve pendant 24h à 105°C pour déterminer leur poids sec.
- **Le rapport «poids sec racinaire et aérienne » (PSR/PSA)** : Les plantes sont coupées au collet pour séparer les racines de la partie aérienne puis les 02 parties sont pesées après étuvage à 105°C pendant 24h pour déterminer le poids sec.

b) La partie aérienne

- La teneur relative en eau

La feuille prélevée est immédiatement pesée p_i puis trempée dans de l'eau distillée, l'ensemble placé dans le réfrigérateur à une température de 2°C pendant 12h.

Les feuilles récupérées sont essuyées par papier buvard. La feuille est pesée à nouveau pour le poids de pleine turgescence p_{pt} puis passé à l'étuve pendant 48h à 80°C pour peser le poids sec p_s . La teneur relative en eau est déterminée comme suit :

$$\text{TRE} = \frac{PF-PS}{p_{pt}-p_s} \text{ en \%}.$$

- Le dosage de la teneur en proline

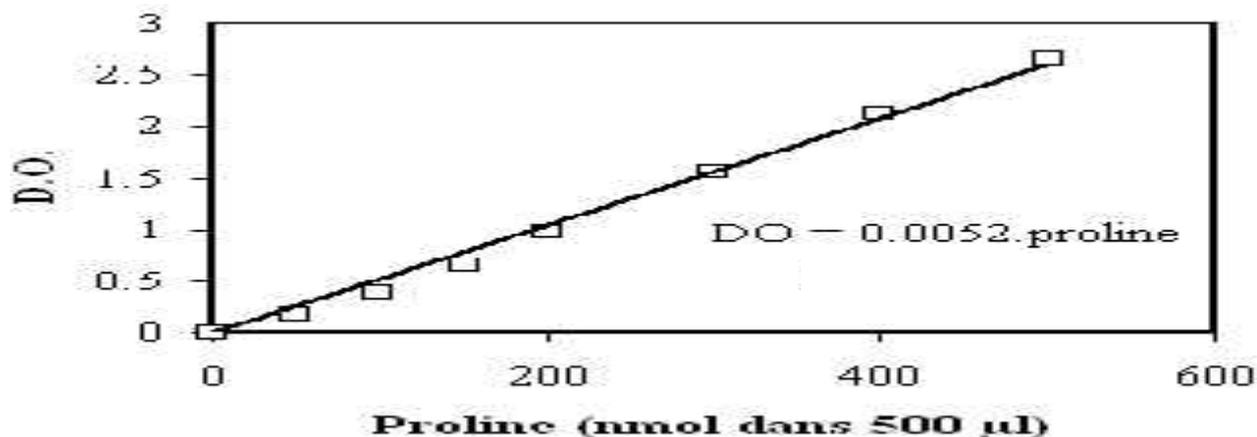
Il est réalisé selon la méthode de TROLL ET LINDSLEY (1955) améliorée par LAHRER ET MAGNE cité par LEPORT, (1992).

On prend 100mg de matériel végétal sur le tiers médian de l'avant dernière feuille et on ajoute 2ml d'éthanol à 40% puis on chauffe, au bain marie à 80°C, pendant 10 minutes.

Puis, 1 ml d'extrait est mélangé à 1ml d'un soluté composé d'eau distillée, d'acide acétique (60%)' et de ninhydrine (500mg/100ml). On laisse refroidir puis on ajoute 3 ml de toluène et on laisse reposer à

l'obscurité pendant deux heures. La densité optique est lue à 528 nm au spectrophotomètre UV 1200, (Figure.12).

Les valeurs obtenues sont reportées sur la courbe étalon construite à partir d'échantillon de proline à quantités connues (100, 200, 300, 400 et 500 nM de proline pure) (Figure.11).



$$a = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) \quad a = 0.0052$$

Figure 11. Schéma du courbe étalon du taux de proline

- Le dosage des sucres solubles

Selon la méthode de SCHIELDS ET BURNETT (1960) utilisée par REKIKI (1997). L'extraction des sucres solubles (glucose et saccharose) se fait par macération de 100 mg du matériel végétal dans 2,5 ml d'éthanol 80% pendant 12 h (réactif A).

Le réactif B est préparé 4h avant le dosage avec un (01g) gramme d'anthrone dissout dans un (01) litre de H₂SO₄. Le réactif A est dilué 10 fois avec de l'éthanol puis on lui ajoute 4 ml de réactif B, le tout est maintenu dans un récipient d'eau glacée (réaction exergonique).

Après agitation, les tubes sont mis dans un bain marie à 92°C pendant 10mn. Après refroidissement à l'obscurité, La densité optique est lue à 580 nm e longueur d'onde au spectrophotomètre UV 1200, (figure.12).

Les valeurs obtenues sont reportées sur la courbe étalon construit à partir d'échantillon de glucose à quantités connues (100, 200, 400, 600 et 900 mM de glucose pur) (figure 12).

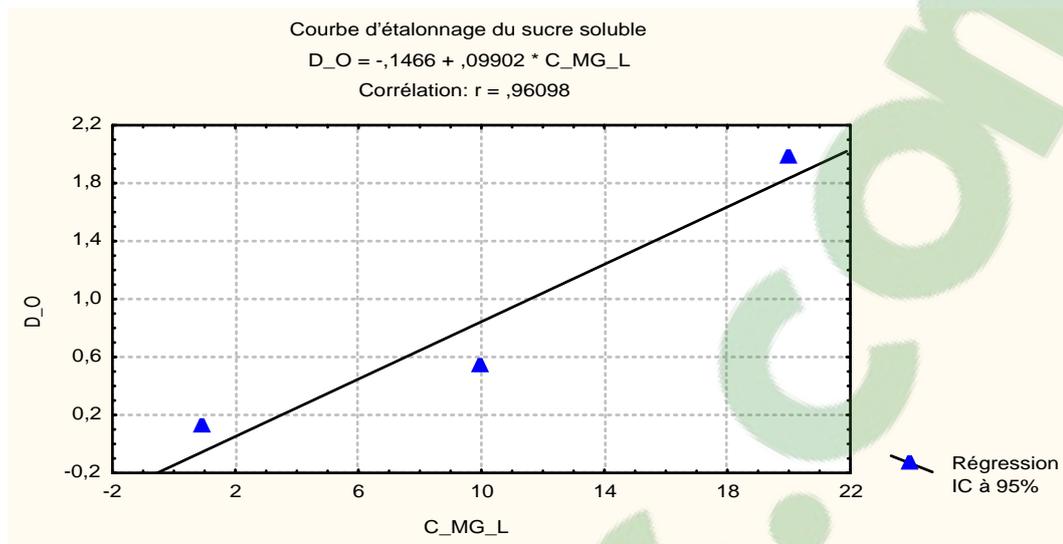


Figure 12 : courbe-étalon pour le dosage du taux de sucres solubles

Le dosage de la chlorophylle

Les teneurs en chlorophylle a, chlorophylle b et caroténoïdes sont déterminées selon la méthode utilisée par de SHABALA et *al.*, (1998) au niveau de l'avant dernière feuille.

Un échantillon de 100 mg de la partie médiane de l'avant dernière feuille est mis dans un tube à essai en présence de 10ml d'acétone à 95% à 4°C dans l'obscurité pendant 48heures.

La lecture de la densité optique (DO en nm) est faite à l'aide d'un spectrophotomètre (type UV 1200) à des longueurs d'onde respectives de 663, 645 et 470 nm qui correspondent aux pics d'absorption de la chlorophylle "a", de la chlorophylle b et des pigments caroténoïdes. Ensuite le calcul des quantités de chlorophylles a et b (exprimée en mg/ml) se fait à l'aide des formules suivantes :

$$\text{Chl a} = 9,78 \text{ DO}_{663} - 0,99 \text{ DO}_{645};$$

$$\text{Chl b} = 21,42 \text{ DO}_{645} - 4,65 \text{ DO}_{663}$$

$$\text{Caroténoïdes} = [1000. \text{DO}(470) - 1,90. \text{Chl.a} - 63,14. \text{Chl.b}] / 214$$



Figure 13: Photo du spectrophotomètre UV1200

Le dosage de l'azote total

Principe : La plus grande partie de l'azote dans les sols se trouve sous forme organique, afin de le doser, on emploie la méthode de « KJELDAHL » ou on transforme l'azote des composés organiques en azote ammoniacal par l'acide sulfurique pur, à l'ébullition qui agit comme oxydant et détruit les matières organiques (sous forme minérale).

Le carbone et l'hydrogène se dégagent à l'état de CO_2 et d'eau. L'azote se transforme en ammoniacque et est fixé par le H_2SO_4 à l'état de sulfate d'ammonium. Puis on distille l'ammoniacque et on le recueille dans une solution d'acide borique. Et on finit par doser ce dernier par l'acide sulfurique.

Réactifs :

- Acide sulfurique pur ; Acide sulfurique (N/10); Mélange catalyseur (10.25g) : (Sulfate de potassium 5g, sulfate de cuivre 5g et sélénium 0.25g)
- NaOH (50%);
- Indicateur mixte ; Acide borique 2% (20g dans 100ml de H_2O + 5ml de l'indicateur).

Mode opératoire

1-Digestion : (minéralisation de l'azote) :

Introduire 04g de végétale dans un matras puis ajouter 20ml d'eau distillé et agiter, puis laisser réagir pendant 30min.

Ajouter 10.25g de mélange catalyseur et 20 à 30 ml d'acide sulfurique pur, et mettre les matras au digesteur puis régler la température à $400\text{ }^\circ\text{C}$ pour une heure.

Laissez refroidir (pas longtemps pour éviter que la solution ne colle en bas des matras). Enfin, transvasez dans des fioles jaugées de 250 ml et complétez jusqu'au trait par l'eau distillé.



Figure 14 : Photo de Aspirateur et de digestion

2-Distillation

Mettez 20ml de l'acide borique (2%) et l'indicateur dans une erlenmyer de 250ml puis agiter bien la solution de terre et prélever 20ml pour lui ajouter 20ml de NaOH (50%) et mettre le tout dans l'appareil de Kjeldahl (ampoule de distillation).

Commencer à chauffer et distiller jusqu'à l'obtention 150ml de distillat dans l'erlenmyer. Enfin, titrer par l'acide sulfurique (N/10) jusqu'à l'obtention la couleur rose et faire un témoin de même façon mais sans terre.

Calcul :

$$(\%) N = \frac{A}{A'} \cdot (T - B) \cdot N \cdot \frac{1.4}{s}$$

T : volume de l'acide sulfurique utilisé pour le dosage de l'échantil

B : volume de l'acide sulfurique utilisé pour le dosage de témoin.

A : volume de la fiole jaugée. A' : volume prélevé de la fiole.

N : normalité de l'acide sulfurique. S : poids de l'échantillon.



Figure 15 : photo du Distillateur

- **Le Poids frais de la partie aérienne :** La partie verte de la plante est séparée de la partie racinaire au niveau du collet puis elle est pesée à l'aide d'une balance de précision

- **Le Poids sec de la partie aérienne :** La masse végétative est étuvée à 80°C pendant 48h puis pesée à l'aide d'une balance de précision.

4 - L'étude statistique

Tous les résultats obtenus sont convertis en valeurs statistiques par le logiciel SPSS afin de déterminer le degré de signification des paramètres étudiées et leurs influences sur la culture dans les conditions.

Chapitre II

Interprétation

I- Interprétation des résultats des paramètres physiologiques

Sur la base des résultats obtenus lors d'un essai contrôlé sous abri (serre plastique), nous proposons une analyse des variations de la germination, de la teneur relative en eau dans les feuilles des plantes puis leur teneur en proline, en sucres solubles en azote et en pigments chlorophylliens en fonction de salinité et enfin les paramètres morphologiques racinaires et aériennes.

Tous les résultats obtenus sont convertis en valeurs statistiques par le logiciel SPSS.

1)- Interprétation des résultats du test de germination

La germination est considérée comme une étape critique dans le cycle de développement de la plante, car elle conditionne l'installation et la relation de la plante avec le milieu. Ainsi que sa productivité ultérieure. Cette étape a pour objet de comparer le comportement germinatif de quelques génotypes de la lentille (*Lens culinaris*) dans des conditions de stress salin.

a) Le taux de germination après 24H

Vingt quatre heures après le début de l'expérimentation, le taux de germination des graines mises à germer dans l'eau distillée est nulle pour les quatre variétés. De même pour tous les traitements.

b) Le taux de germination après 48H

Après le début de l'expérimentation, le taux de germination atteint les 40% pour le témoin de la variété Syrie Nt, et pour les autres trois génotypes, ce taux ne dépasse pas les vingt pour cent. Alors que pour le traitement de 50mM/l de NaCl, le taux de germination dépasse les 20%, en particulier, pour la variété locale Métropole. Par contre, le taux reste nulle pour les autres génotypes pour les traitements salins de 75 et 100 mM/l de NaCl. (fig 16).

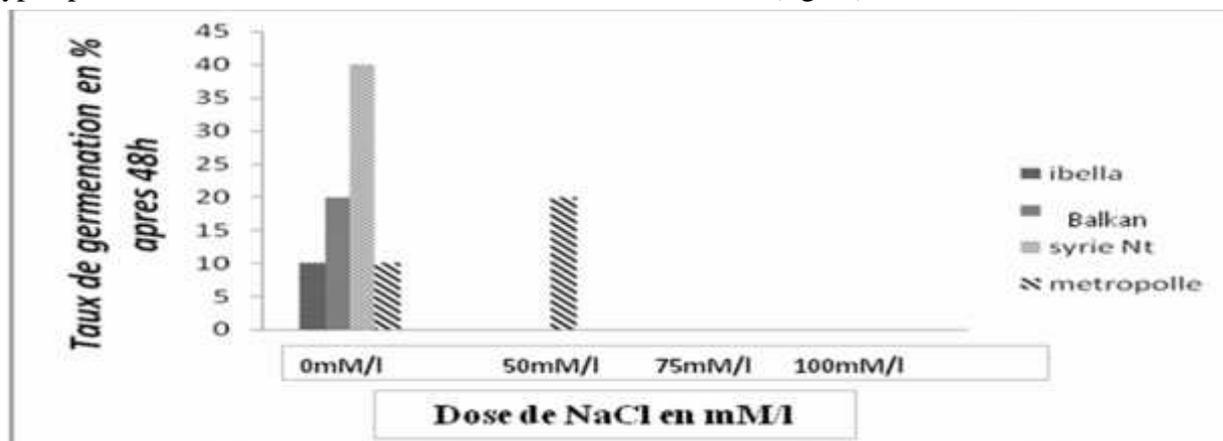


Figure 16 : Histogramme comparatif du taux de germination après 48H sous l'effet du stress salin des quatre variétés *Lens culinaris*.

c)- Le taux de germination après 72H

Le taux de germination augmente d'une façon remarquable dans tous les milieux soixante douze heures après, la moyenne de germination est atteinte chez les quatre génotypes pour tous les traitements salins (+50%).

On remarque que le taux de germination des graines soumises au traitement de 50mM/l de chlorure de sodium avoisine celle du témoin avec + de 85% pour le génotype Ibela et atteint le maximum 100% pour les trois génotypes Balkan, Syrie Nt et Metropole. (fig 17).

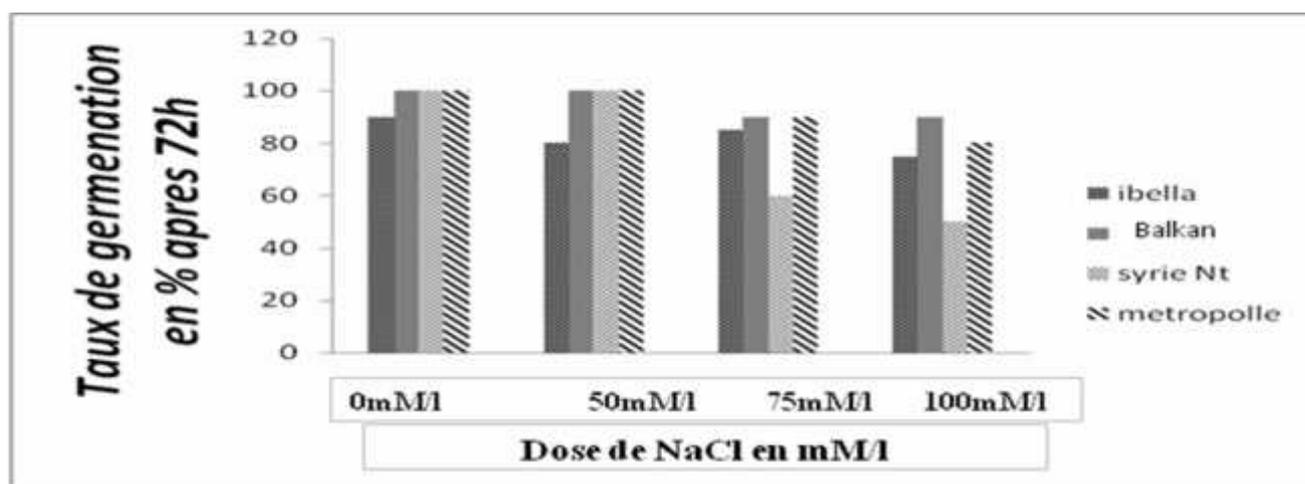


Figure 17 : Histogramme comparatif du taux de germination après 72H sous l'effet du stress salin des quatre variétés de *Lens culinaris*.

Alors que pour les traitements de 75mM/l et 100mM/l de chlorure de sodium le taux de germination est compris entre 50 et 90%. Et c'est le génotype **Balkan** qui représente le taux élevé pour ces deux traitements avec respectivement 92 et 89%.

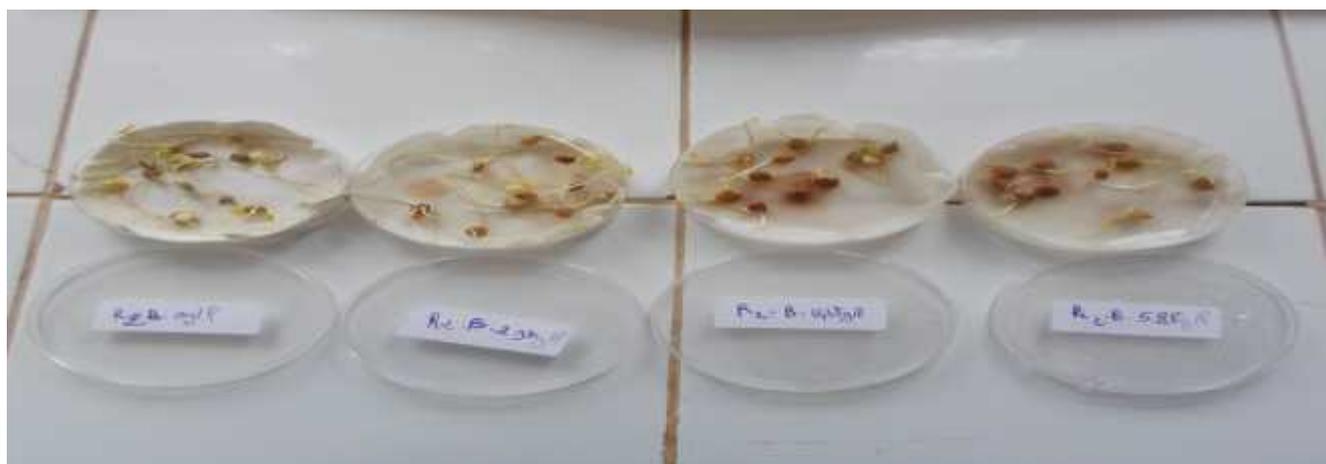


Figure 18 : Le taux de germination de la variété Balkan après 72H.

d)- Taux de germination après une semaine

Après une semaine de l'expérimentation le taux de germination a atteint les 100% pour les quatre variétés au témoin et au traitement 50mM/l.

Pour les autres concentrations, les quatre cultivars présentent un taux de germination supérieure à 80%.

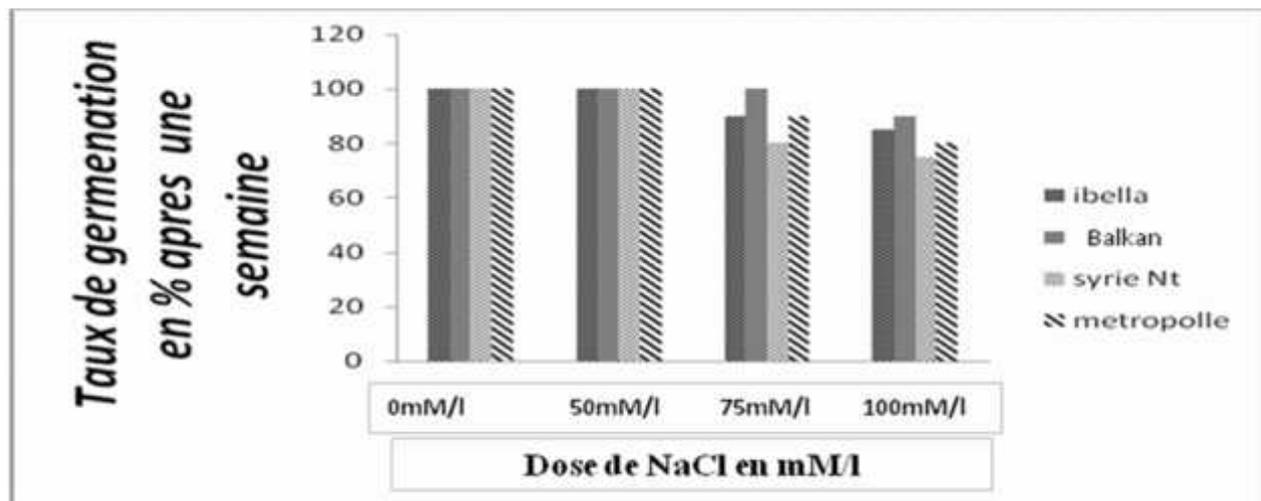


Figure 19 : Histogramme comparatif du taux de germination après une semaine sous l'effet du stress salin des quatre variétés de *Lens culinaris*.

Les résultats obtenus dans cette étape de l'étude, démontrent que la lentille est une plante sensible à l'action du NaCl au stade germination à des concentrations de sel qui atteignent les 100mmol. La capacité de germination et la vitesse de germination sont particulièrement affectées.

Ces résultats préliminaires sont des marqueurs intéressants pour élucider davantage la relation du stress salin et le comportement des graines d'autres variétés de lentille. Ces résultats sont confirmés par BENACEUR et *al.*, (2001) et BELKHODJA ET SOLTANI (1992).

Ces derniers ne soulignent que la réponse des graines (*Vicia fabal*), au stress salin varie dans le temps avec la concentration au sel et ce retard est nécessaire à la graine, pour ajuster la pression osmotique.

De même pour BENSALÉM et *al.*, (1995), qui montre des comportements spécifiques à chaque variété (blé dur, orge et triticale) avec une tolérance au sel entre 3 et 9g/l. Enfin, l'excès de sel ralentit seulement la germination et durant ce retard, la plante régule son osmolarité.

2) la teneur relative en eau (TRE)

La teneur relative en eau des feuilles indique l'état de turgescence relative des tissus et compte parmi les critères d'évaluation de tolérance au stress abiotique. Elle est liée à la capacité de la plante à maintenir un niveau d'hydratation des tissus afin de lui garantir la continuité de son métabolisme, (MONNEVEUX et *al.*, 1992). Pour évaluer l'état hydrique des plantes expérimentées en situation de stress salin, nous avons mesuré la variation de la teneur relative en eau au bout de sept semaines de stress salin.

Tableau 07 - Analyse de la variance de la teneur relative en eau des plantes de *Lens culinaris* L. conduites sous différents stress salin (logiciel spss).

Corrélations

		variété	NaCl mM	TRE
variété	Corrélation de Pearson	1	,000	,038
	Sig. (bilatérale)		1,000	,796
	N	48	48	48
NaCl mM	Corrélation de Pearson	,000	1	-,944**
	Sig. (bilatérale)	1,000		,000
	N	48	48	48
TRE	Corrélation de Pearson	,038	-,944**	1
	Sig. (bilatérale)	,796	,000	
	N	48	48	48

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

L'analyse statistique à l'aide du logiciel Spss, (tableau.07) démontre que les variations constatées s'opèrent sous l'influence des niveaux de salinité imposés et du génotype car les résultats sont très hautement significatifs négativement pour l'impact du NaCl, ($p=0\%$). En effet, l'action de la salinité est remarquable, la figure 20 révèle que l'intensification du traitement salin sur les génotypes de *Lentille* s'accompagne d'une diminution du niveau d'hydratation.

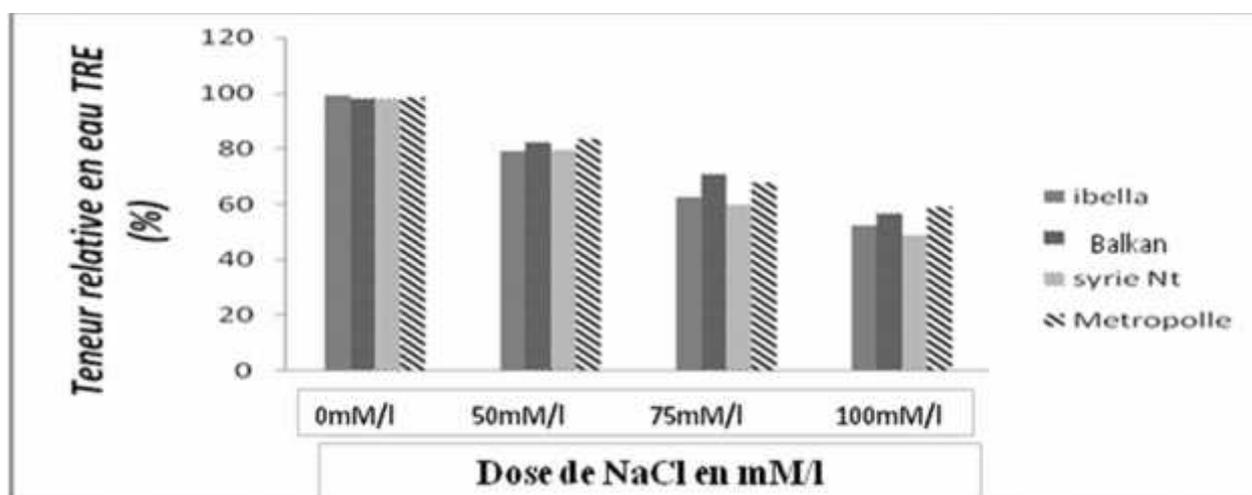


Figure 20 : Histogramme comparatif de la teneur relative en eau sous l'effet du stress salin des quatre variétés de *Lens culinaris*

Les réponses recherchées s'articulent principalement autour du comportement du végétal et sa tolérance ou sa sensibilité vis-à-vis de nouveaux éléments édaphiques dans le temps et dans l'espace. La figure 20 montre que la teneur relative en eau varie en se décroissant sous l'effet de la salinité. En effet, au niveau du traitement témoin la teneur en eau semble se maintenir à un niveau élevé et stable qui dépasse les 98% pour les quatre variétés testées.

La salinité a une action dépressive sur ce paramètre, sachant qu'au traitement 100mM/l de NaCl, les génotypes de Lentille affichent une réduction remarquable dans le niveau d'hydratation avec 52%, 56.66%, 48.66% et 59% respectivement pour les variétés Ibela, Balkan, Syrie Nt et Métropole.

II- Interprétation des paramètres biochimiques

a)- Les pigments chlorophylliens

Tableau 08 : Analyse de la variance des pigments chlorophylliens des 04 variétés de *lens culinaris*

		Corrélations				
		variete	NaClmMol	chla	chlb	carotène
Variete	Corrélation de Pearson	1	,000	-,105	-,063	,221
	Sig. (bilatérale)		1,000	,476	,671	,131
	N	48	48	48	48	48
NaClmMol	Corrélation de Pearson	,000	1	-,380**	-,483**	-,488**
	Sig. (bilatérale)	1,000		,008	,001	,000
	N	48	48	48	48	48
Chla	Corrélation de Pearson	-,105	-,380**	1	,671**	,830**
	Sig. (bilatérale)	,476	,008		,000	,000
	N	48	48	48	48	48
Chlb	Corrélation de Pearson	-,063	-,483**	,671**	1	,731**
	Sig. (bilatérale)	,671	,001	,000		,000
	N	48	48	48	48	48
carotène	Corrélation de Pearson	,221	-,488**	,830**	,731**	1
	Sig. (bilatérale)	,131	,000	,000	,000	
	N	48	48	48	48	48

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

- La Chlorophylle "a"

L'analyse de la variance de ce paramètre (tableau 08) montre que la teneur en **Chlorophylle "a"** est fortement conditionnée par les variations de la solution saline (p=0.08).

En effet, le stress salin réduit fortement la teneur de cette chlorophylle.

Cependant, le taux le plus élevé est observé chez la variété Ibela avec 5.08 µg/g de MF pour le témoin puis une régression pour les autres traitements de 2.24 µg/g de MF; 1.67 µg/g de MF ; et 1,35 µg/g de MF respectivement pour les autres traitements.

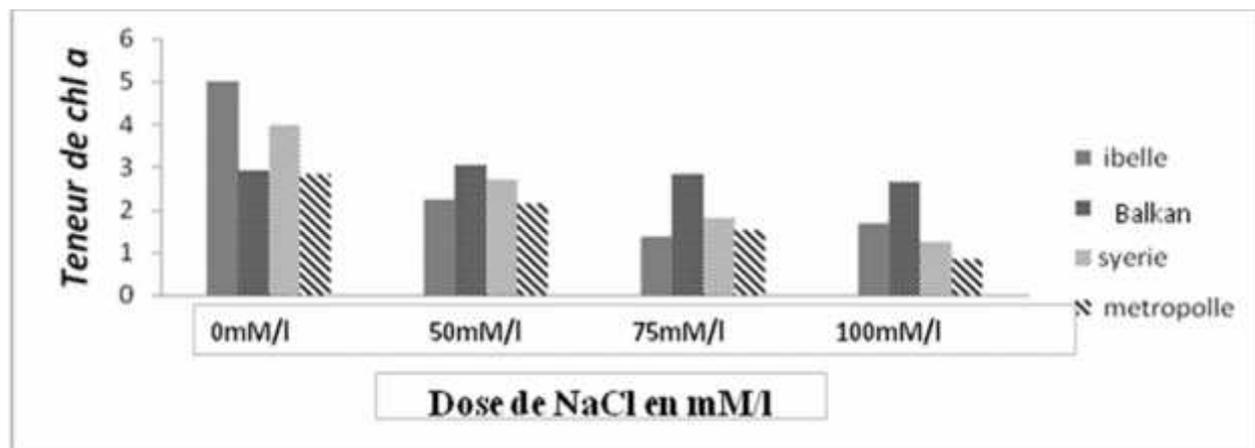


Figure 21 : Histogramme comparatif de la teneur en chlorophylle a ($\mu\text{g/g}$ de MF) des quatre variétés de *lens culinaris* L

- La Chlorophylle "b"

L'analyse des résultats obtenus (tableau 08) montre que la teneur en chlorophylle b a été affectée par l'excès de sel de manière très hautement significative négativement et proportionnelle à l'intensité du stress appliqué ($p=0.001$). La nature des variétés testées reste sans effet notable sur l'expression de ce paramètre ($p>0,05$).

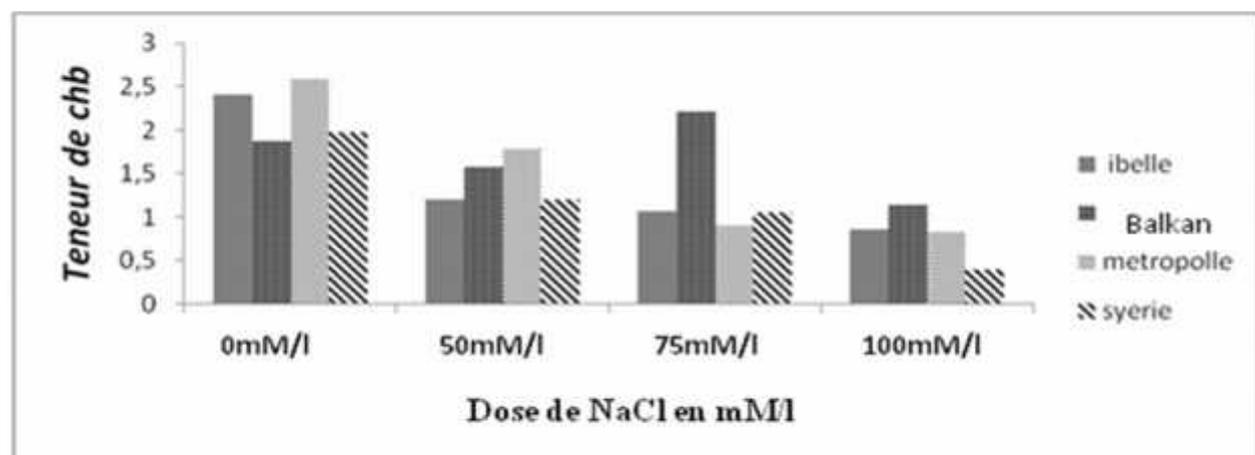


Figure 22: Histogramme comparatif de la teneur en chlorophylle b ($\mu\text{g/g}$ de MF) des quatre variétés de *lens culinaris* L.

- Les pigments caroténoïdes (xanthophylles et carotènes)

Selon les résultats obtenus de l'analyse statistique lors de cet essai (tableau 08), on constate une corrélation très hautement significative pour l'impact du NaCl, ($p=0$), alors il apparaît que les pigments caroténoïdes ne dépendent pas à la variabilité génotypique des variétés utilisées.

Cependant, le stress appliqué s'est traduit par un décroissement de la teneur en caroténoïdes, alors que pour la teneur la plus élevée est remarquée chez la variété locale métropole $2.98 \mu\text{g/g}$ de MF en milieu non salé et elle diminue en $1.73 \mu\text{g/g}$ de MF, $1.61 \mu\text{g/g}$ de MF et $0.84 \mu\text{g/g}$ de MF respectivement avec les traitements 50mM/l , 75mM/l et 100mM/l de NaCl.

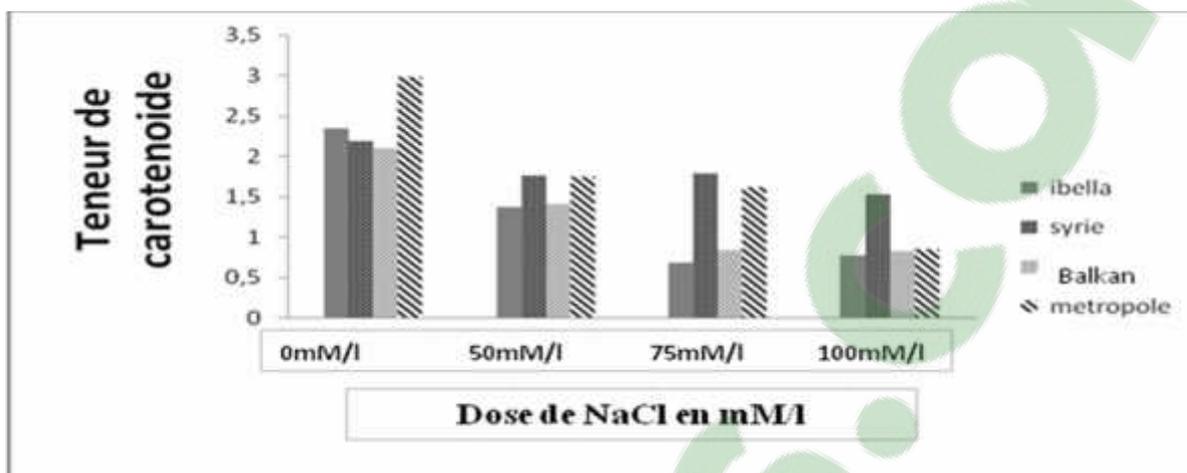


Figure 23 : Histogramme comparatif de la teneur en caroténoïde (µg/g de MF) des quatre variétés de *lens culinaris* L.

b)- La teneur en proline et en sucres solubles

Tableau 09 : Analyse de la variance des teneurs en sucres solubles et en proline des 04 variétés de *lens culinaris*.

Corrélations

		variete	NaCl mM/l	PROLINE	Sucres
variete	Corrélation de Pearson	1	,000	,411**	,272
	Sig. (bilatérale)		1,000	,004	,062
	N	48	48	48	48
NaClmMol	Corrélation de Pearson	,000	1	,523**	,262
	Sig. (bilatérale)	1,000		,000	,072
	N	48	48	48	48
PROLINE	Corrélation de Pearson	,411**	,523**	1	,303*
	Sig. (bilatérale)	,004	,000		,036
	N	48	48	48	48
Sucres	Corrélation de Pearson	,272	,262	,303*	1
	Sig. (bilatérale)	,062	,072	,036	
	N	48	48	48	48

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

* . La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

La teneur en proline

A la lecture des résultats (fig.24), on note cependant des variations de grandeur de ce paramètre. En effet, l'accumulation de la proline est plus importante au niveau des plantes soumises à 100mM/l de NaCl où on enregistre 102.82, 122.5, 103.14 en mM/500 μ l de solution respectivement pour les géotypes Ibella, Balkan, Syrie Nt.

L'analyse des résultats dégagés (tableau 09) montre que la teneur en proline a été affectée par le stress salin appliqué de manière très hautement significative ($p=0,000$) et positivement d'une manière croissante. La nature des variétés testées semble aussi être affectée par l'expression de ce paramètre ($p=0,04$).

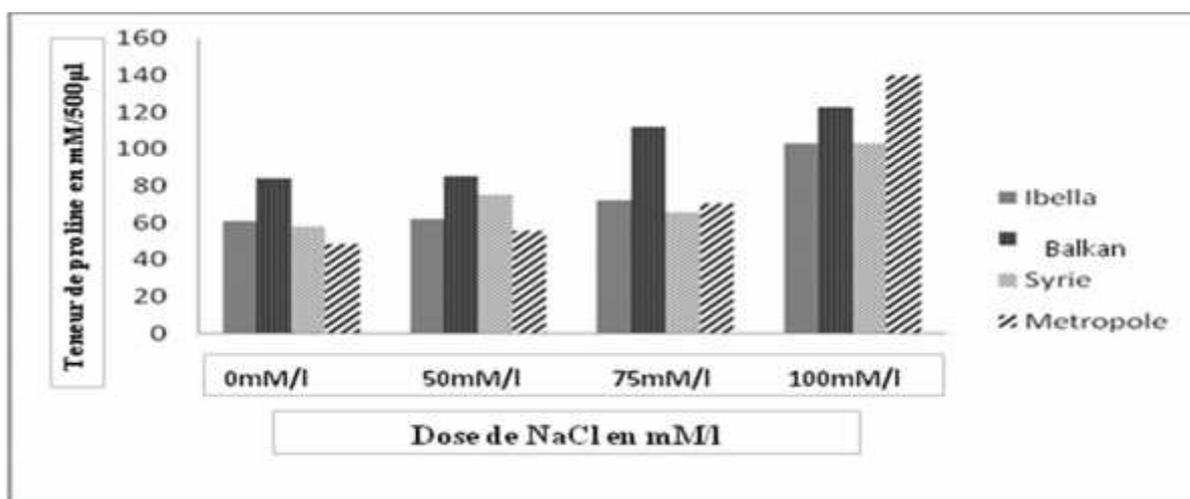


Figure 24 : Histogramme comparatif de la teneur de proline en mM/500 μ l de solution sous l'effet de Na Cl des quatre variétés de *Lens culinaris*.

Les sucres solubles

L'influence prélevée s'inscrit dans une tendance positive car la présence de forte dose de sel dans le substrat s'accompagne d'un accroissement de la teneur en sucres solubles des feuilles, Les résultats du tableau 09 ne montre pas une corrélation significative entre l'effet variétal et ce paramètre ($p=0.62$).

Les résultats obtenus, montrent que les plants soumis à la salinité ont réagit par une forte accumulation de sucres dans les feuilles. Bien que, les comportements des plantes apparaissent identiques pour les quatre géotypes, le degré de salinité incite une évolution considérable de la teneur en sucres dans les feuilles.

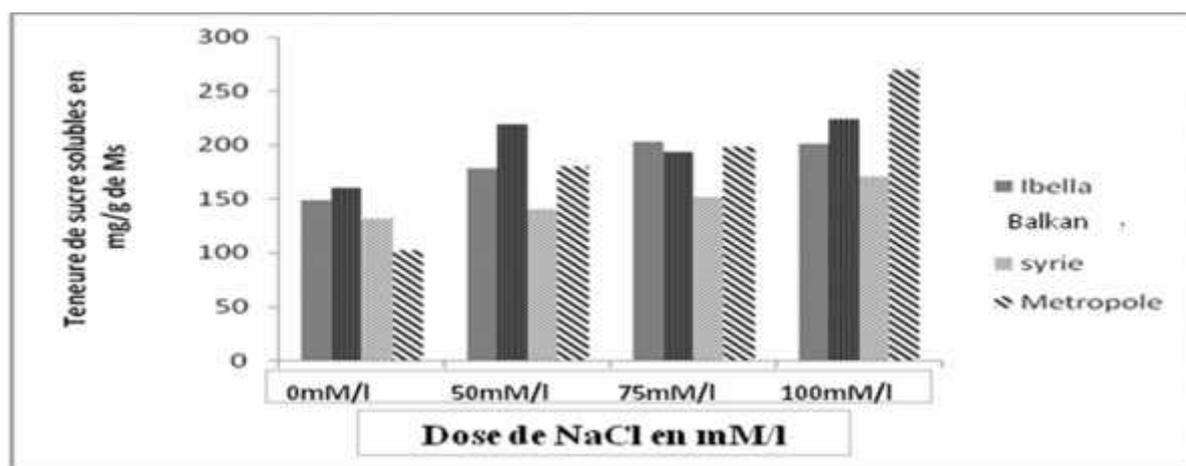


Figure 25 : Histogramme comparatif de la teneur de sucres solubles en mg/g de Ms sous l'effet de Na Cl des quatre variétés de *Lens culinaris*.

La teneur d'azote dans les feuilles

Tableau 10 : Analyse de la variance de taux de l'azote dans les feuilles des quatre variétés de *lens culinaris*

		variete	NaCl mM	Azote feuille
variete	Corrélation de Pearson	1	,000	-,229
	Sig. (bilatérale)		1,000	,117
	N	48	48	48
NaClmMol	Corrélation de Pearson	,000	1	-,156
	Sig. (bilatérale)	1,000		,289
	N	48	48	48
Azotefeuille	Corrélation de Pearson	-,229	-,156	1
	Sig. (bilatérale)	,117	,289	
	N	48	48	48

Parmi les éléments nutritifs nécessaires, celui qui est le plus souvent limitant pour la croissance des plantes est l'azote, dans nos résultats la présence de l'azote dans les feuilles de quatre géotypes de *Lens culinaris* L ne présente pas une corrélation significative avec les stress salin ($p=0.289$), mais on enregistre une diminution de la teneur de l'azote. (Tableau 10).

La teneur la plus élevée est affichée par la variété Balkan (0.87%) dans la matière sèche pour le témoin elle affiche de même 0.72 % de la matière sèche des feuilles en concentration saline de 100mM/l de NaCl. (Fig 26).

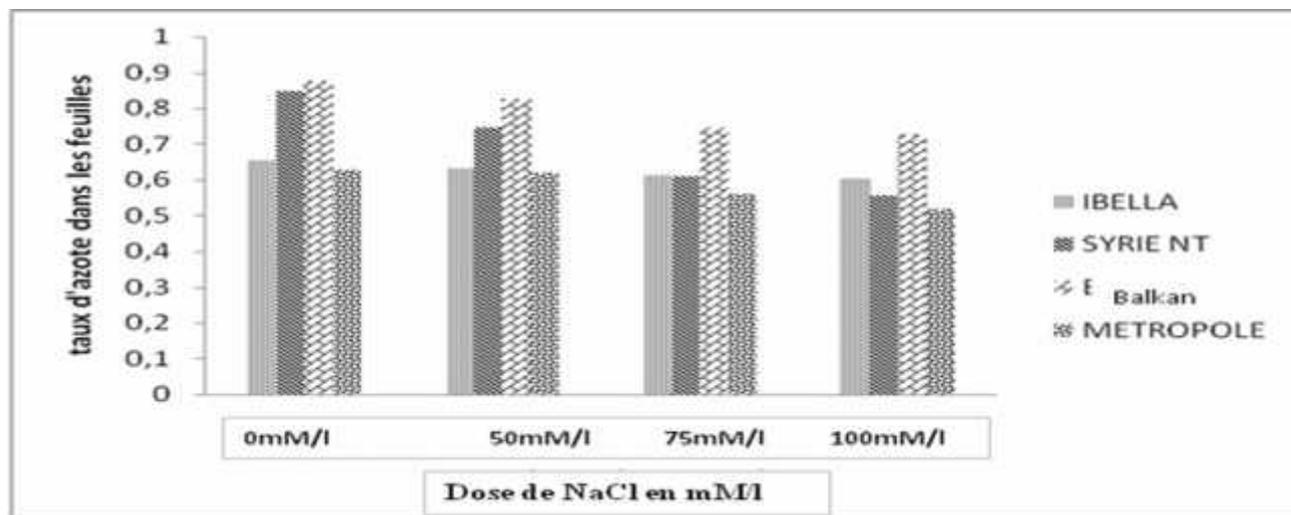


Figure 26 : Analyse de la variation de taux d'azote en % de matière sèche des feuilles sous l'effet de Na Cl des quatre variétés de *Lens culinaris*.

II- Interprétation des paramètres morphologiques

En Algérie, la sécheresse, un des phénomènes climatiques le plus observé depuis longtemps conduit manifestement à la salinisation des sols. En réponse à une telle contrainte, la plante met en jeu différents mécanismes de tolérance et d'adaptation tel que l'implication de la variabilité morphologique du système foliaire comme composante de la résultante adaptative au stress salin ayant souvent fait l'objet de travaux visant la sélection de génotypes adaptés.

- **Interprétation des paramètres morphologiques racinaires**

La caractérisation des mécanismes d'adaptation racinaires s'est portée sur des critères biométriques. Les observations ont portées notamment sur les dimensions de la longueur, du volume le pois sec et le nombre des nodules.

Tableau 11 : Analyse de la variance des paramètres morphologiques des racines des quatre variétés de *lens culinaris*.

		Corrélations			
		Variété	NaCl mM	Volume racines	Longueur racines
variété	Corrélation de Pearson	1	,000	,014	-,674**
	Sig. (bilatérale)		1,000	,922	,000
	N	48	48	48	48
NaCl mM	Corrélation de Pearson	,000	1	-,550**	,065
	Sig. (bilatérale)	1,000		,000	,663
	N	48	48	48	48
Volume racines	Corrélation de Pearson	,014	-,550**	1	-,015
	Sig. (bilatérale)	,922	,000		,919
	N	48	48	48	48
Longueur racines	Corrélation de Pearson	-,674**	,065	-,015	1
	Sig. (bilatérale)	,000	,663	,919	
	N	48	48	48	48

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

a)- La longueur de l'axe principal

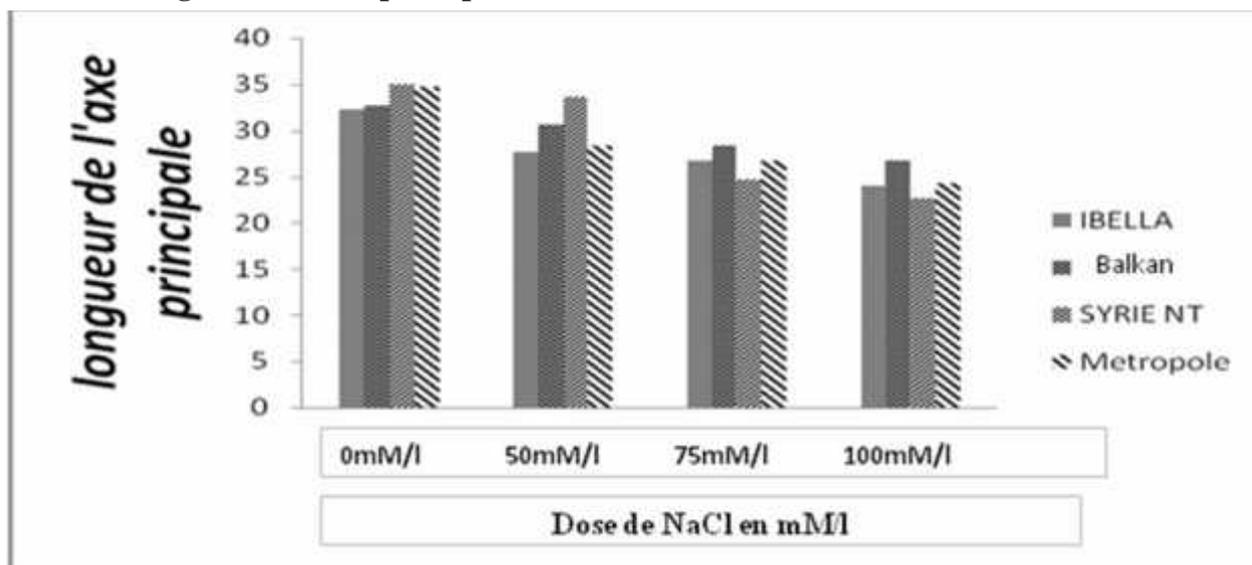


Figure 27 : Histogramme représentant la variation de la longueur de l'axe principal en cm sous l'effet de Na Cl des quatre variétés de *Lens culinaris*

La longueur de l'axe principal racinaire renseigne sur la profondeur de sol utilisé et avec le rapport biomasse racinaire/ biomasse aérienne, elle figure parmi les critères d'évaluation de la tolérance au stress.

La profondeur d'enracinement peut être appréciée par la longueur de l'axe principal.

L'analyse statistique des résultats (Tableau 10) révèle que la longueur de l'axe principal racinaire est fortement liée au comportement variétal ($p=0.00$), alors que le stress salin appliqué n'affiche pas une relation significative sur ce paramètre ($p>0.05$).

Comparativement entre les variétés conduites, l'impact des variations du stress salin est perçu de manières différentes. On remarque une diminution de la longueur de l'axe principal, le génotype Balkan affiche la valeur la plus élevées au témoin (+ de 35cm), mais la valeur a chuté jusqu'à 25cm au milieu plus concentré (100mM/l de NaCl).(Fig27).



Figure 28 : Effet du stress salin sur la longueur et le volume racinaire de la variété Syrie Nt.

b)- Le volume racinaire

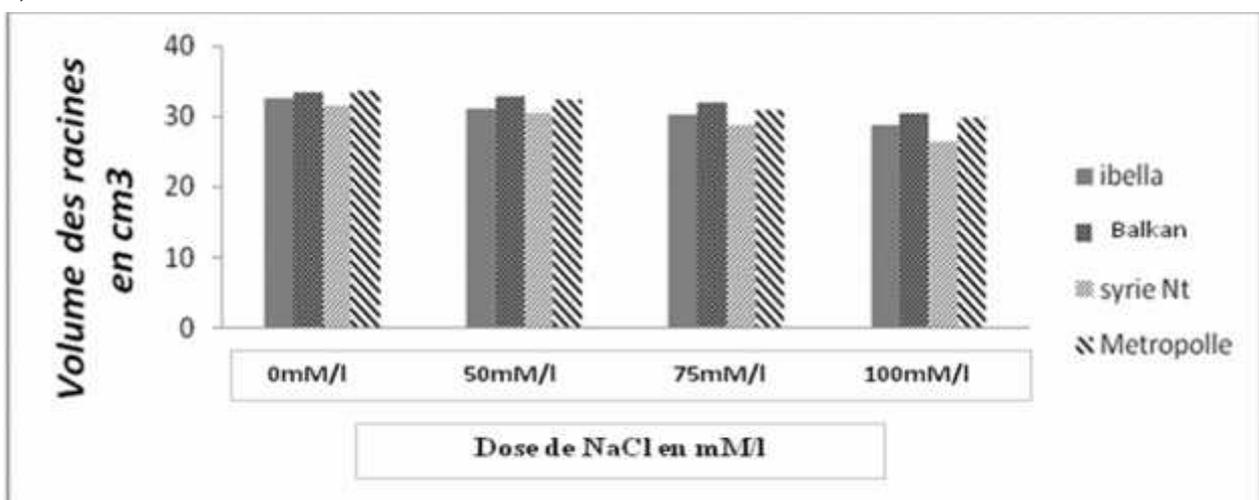


Figure 29 : Histogramme comparatif de l'effet du stress salin sur le volume en cm³ racinaire des quatre variétés de *Lens culinaris*.

Les résultats escomptés ont montré une relation très hautement significative négativement entre le paramètre étudié et le stress appliqué quant aux mesures effectuées ($p=0.00$)(tableau 11). Ceci prouve que les balancements de la concentration en sels du substrat influent fortement sur l'ensemble des caractéristiques mesurées, en particulier le volume des racines.

En effet, l'action de la salinité est remarquable car la figure 29 révèle que l'intensification du traitement salin sur les génotypes de lentille s'accompagne d'une diminution de ce paramètre.

Le volume chez la variété locale métropole régresse de 33.66cm^3 affiché par témoin à 32.33cm^3 au traitement 50mM/l de NaCl, et à 30.83cm^3 , et $29.83.\text{cm}^3$ respectivement pour les traitements 75mM/l , et 100mM/l de NaCl,

C) le nombre des nodules bactériens

L'analyse des résultats dégagés (Tableau 12) montre que le nombre de nodules a été affecté par le stress salin de manière significative négativement et proportionnelle à l'intensité du stress appliqué ($p=0,20$).

Tableau 12 : Analyse de la variance de nombre de nodule dans les racines des quatre variétés de *lens culinaris*.

		Corrélations		
		variété	NaCl mM	Nbre nodule
variété	Corrélation de Pearson	1	,000	-,048
	Sig. (bilatérale)		1,000	,746
	N	48	48	48
NaCl mM	Corrélation de Pearson	,000	1	-,335*
	Sig. (bilatérale)	1,000		,020
	N	48	48	48
Nbre nodule	Corrélation de Pearson	-,048	-,335*	1
	Sig. (bilatérale)	,746	,020	
	N	48	48	48

*. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

D'après nos résultats on a constaté la formation des nodosités aux niveaux des racines des quatre génotypes dans les quatre traitements de NaCl mais avec un taux décroissant dans le nombre vis-à-vis l'intensité du stress appliqué. (Figure30).

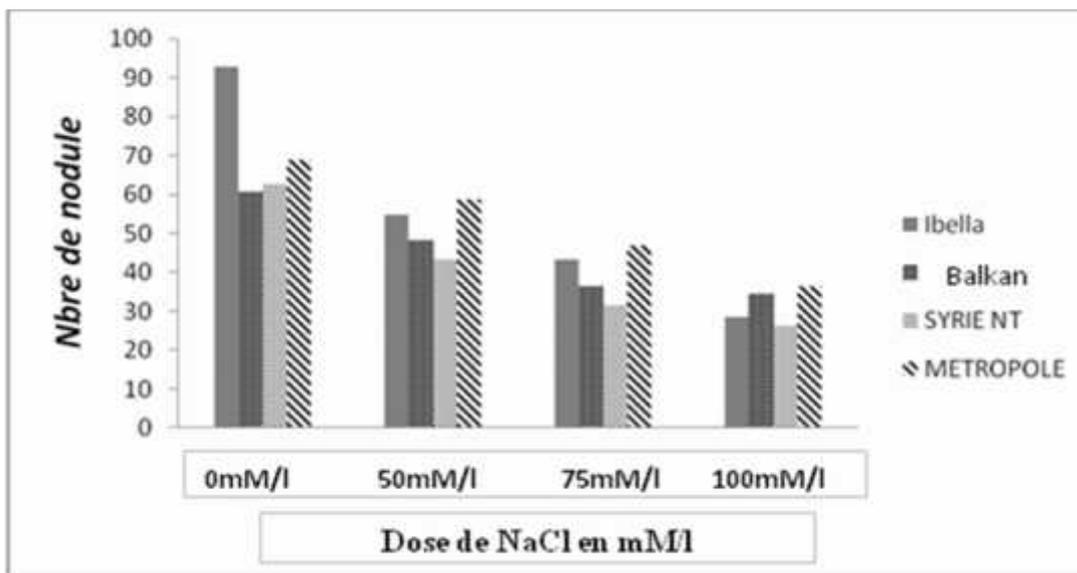
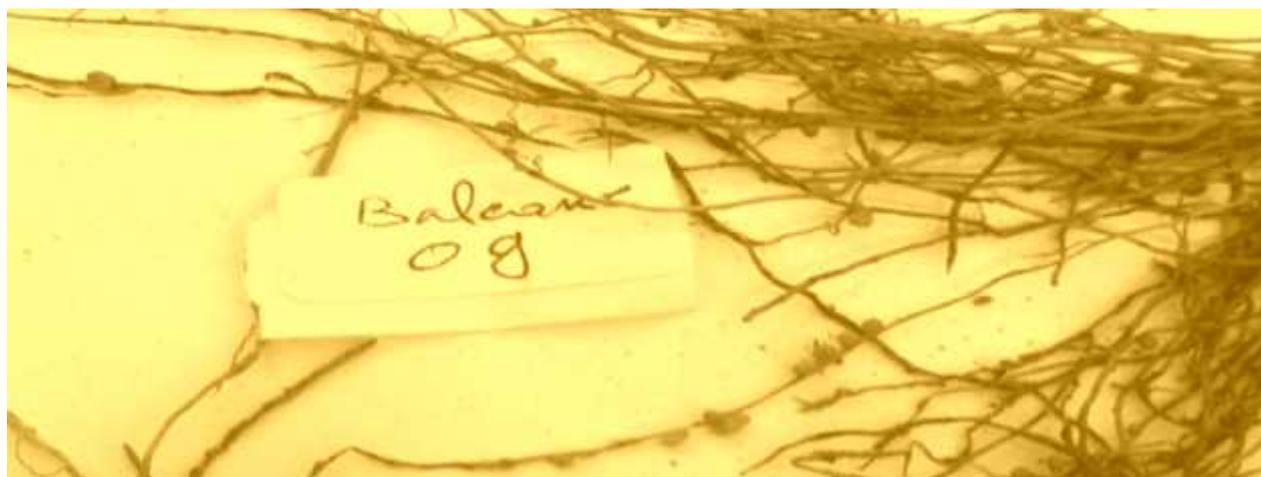


Figure 30 : Histogramme comparatif de l'effet du stress salin sur le nombre des nodules racinaires des quatre variétés de *Lens culinaris* .

La figure 30 révèle que la variété Ibella présente une formation importante des nodosités bactériennes dans ses racines, sachant que son nombre atteint 92 nodules au témoin et ce nombre va diminuer en fonction des doses croissantes de NaCl pour atteindre les 28 nodules au milieu plus concentré de 100mM/l de NaCl.



figure 31 : Vue des nodules à la loupe binoculaire (avec un grossissement *200) dans les racines de Métropole (variété algérienne) de *Lens culinaris* L sous l'effet de NaCl.



**Figure 32 : Photos des racines avec des nodosités bactériennes dans un milieu non salé.
Variété Balkan de *Lens culinaris* L.**

La taille, la forme et la couleur des nodules

Pour la forme des nodules, on constate qu'il n'y a pas un effet remarquable de stress salin sur ce paramètre. En effet, pour l'ensemble des géotypes les nodules ont les mêmes formes entre sphérique et ovoïdes. Cependant, pour la couleur des nodules, elle diffère selon la concentration de NaCl: en milieu concentré soit 100 mM/l de NaCl, la couleur est blanche alors que chez le témoin, la couleur est marron.

Pour la taille des nodules on remarque un effet décroissant vis-à-vis le stress appliqué. Plus la concentration saline augmente plus la taille de ces nodosités bactériennes diminue. Elle atteint environ 2 mm au témoin pour les quatre variétés, et 1 mm à une concentration de 100mM/l de NaCl.

Tableau 13 : Etude des paramètres des nodules racinaires (la taille, la couleur et la forme) des deux variétés de *lens culinaris* (Ibela et Balkan).

		IBELA			BALKAN		
		couleur	Taille mm	Forme	couleur	Taille	Forme
0 mM/l de NaCl	R1	Blanche	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique	Blanche+marron	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique
	R2	Blanche+marron	1 à 2 mm	Sphérique	Blanche+marron	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique
	R3	Blanche	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique	Blanche+marron	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique
50 mM/l de NaCl	R1	Blanche+marron	1 mm	Ovoïde + Sphérique	Blanche+marron	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique
	R2	Blanche	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique	Blanche	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique
	R3	Blanche	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique	Blanche	1 à 2 mm	Sphérique
75 mM/l de NaCl	R1	Blanche	1 à 2 mm	Sphérique	Blanche+marron	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique
	R2	Blanche	1 mm	Ovoïde + Sphérique	Blanche	1 à 2 mm	Sphérique
	R3	Blanche	1 mm	Ovoïde + Sphérique	Blanche	1 à 2 mm	Sphérique
100 mM/l de NaCl	R1	Blanche	1 mm	Ovoïde + Sphérique	Blanche+marron	1 mm	Ovoïde + Sphérique
	R2	Blanche	1 mm	Ovoïde + Sphérique	Blanche	1 mm	Sphérique
	R3	Blanche	1 mm	Sphérique	Blanche	1 mm	Sphérique

Tableau 14 : Etude des paramètres des nodules racinaires (la taille, la couleur et la forme) des deux variétés de *lens culinaris* (Syrie et metropole).

		SYRIE NT			METROPOLE		
		couleur	Taille	Forme	Couleur	Taille	Forme
0 mM/l de NaCl	R1	Blanche	1 mm	Ovoïde + Sphérique	Blanche	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique
	R2	Blanche + marron	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique	Blanche + marron	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique
	R3	Blanche + marron	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique	Blanche + marron	1 à 2 mm	Sphérique
50 mM/l de NaCl	R1	Blanche	1 mm	Sphérique	Blanche	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique
	R2	Blanche	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique	Blanche + marron	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique
	R3	Blanche	1 à 2 mm	Ovoïde+ Sphérique	Blanche	1 à 2 mm	Sphérique
75 mM/l de NaCl	R1	Blanche	1 mm	sphérique	Blanche	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique
	R2	Blanche	1 à 2 mm	Ovoïde+ Sphérique	Blanche + marron	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique
	R3	Blanche	1 à 2 mm	Sphérique	Blanche	1 à 2 mm	Ovoïde + Sphérique
100 mM/l de NaCl	R1	Blanche	1 mm	Sphérique	Blanche	1 mm	Ovoïde + Sphérique
	R2	Blanche	1 mm	Ovoïde+ Sphérique	Blanche	1 mm	Ovoïde + Sphérique
	R3	Blanche	1 mm	Sphérique	Blanche	1 à 2 mm	Sphérique

Le rapport poids Q (poids secs racinaires / poids secs aériens)**Tableau 15 : Analyse de la variance de matière sèche racinaire et matière sèche aérienne et leur rapport des quatre variétés de *lens culinaris* .**

		Corrélations				
		variete	NaCl mM	MS rac	MS tige	Rapport rac/feuille
Variete	Corrélation de Pearson	1	,000	,046	-,075	,030
	Sig. (bilatérale)		1,000	,759	,613	,837
	N	48	48	48	48	48
NaCl mM/I	Corrélation de Pearson	,000	1	-,295*	,184	-,506**
	Sig. (bilatérale)	1,000		,042	,211	,000
	N	48	48	48	48	48
Matsecherac	Corrélation de Pearson	,046	-,295*	1	,160	,409**
	Sig. (bilatérale)	,759	,042		,276	,004
	N	48	48	48	48	48
Matseche tige	Corrélation de Pearson	-,075	,184	,160	1	-,580**
	Sig. (bilatérale)	,613	,211	,276		,000
	N	48	48	48	48	48
Rapportrac/Feuil	Corrélation de Pearson	,030	-,506**	,409**	-,580**	1
	Sig. (bilatérale)	,837	,000	,004	,000	
	N	48	48	48	48	48

*. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

**. La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Les résultats dégagés de cette analyse (tableau 15) sont très hautement significatifs négativement avec $p=0.00$ pour le rapport mrs/mrf.

Ces derniers révèlent que le rapport de la matière sèche racinaire et la matière sèche aérienne (Q) dépend essentiellement du stress appliqué. L'accroissement de l'intensité de stress salin

s'accompagne d'une façon proportionnelle à la réduction de ce rapport. La nature des géotypes exerce une faible action non significative sur cette caractéristique.

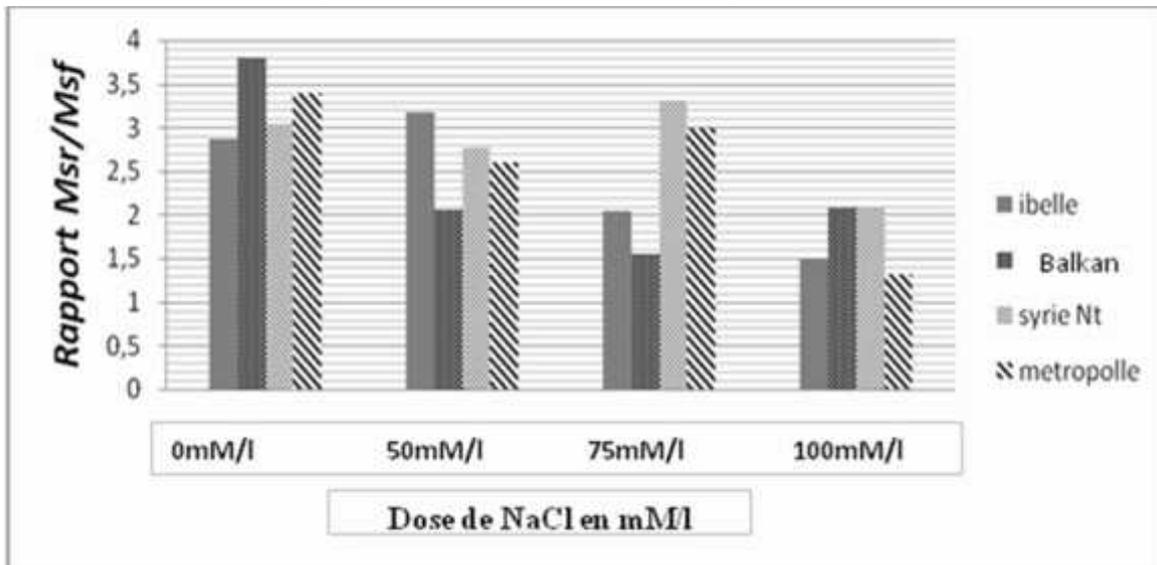


Figure 33: Histogramme comparatif de l'effet du stress salin sur le rapport MSR/MSF des quatre variétés de *Lens culinaris*.

- Matiere seche des tiges

L'application de stress salin est accompagnée d'une nette réduction des valeurs de la matière sèche, chez l'ensemble des géotypes expérimentés. Le géotype Balkan s'avère le moins sensible à ce niveau, pour l'élaboration de la matière sèche, en inscrivant la plus faible réduction avec 1.12g.

L'analyse de variance (tabl :15) ne présente aucune relation significative entre la matière sèche des feuilles et le stress salin et par contre, montre une corrélation significative de l'interaction MSF avec le rapport MSR/MSF.

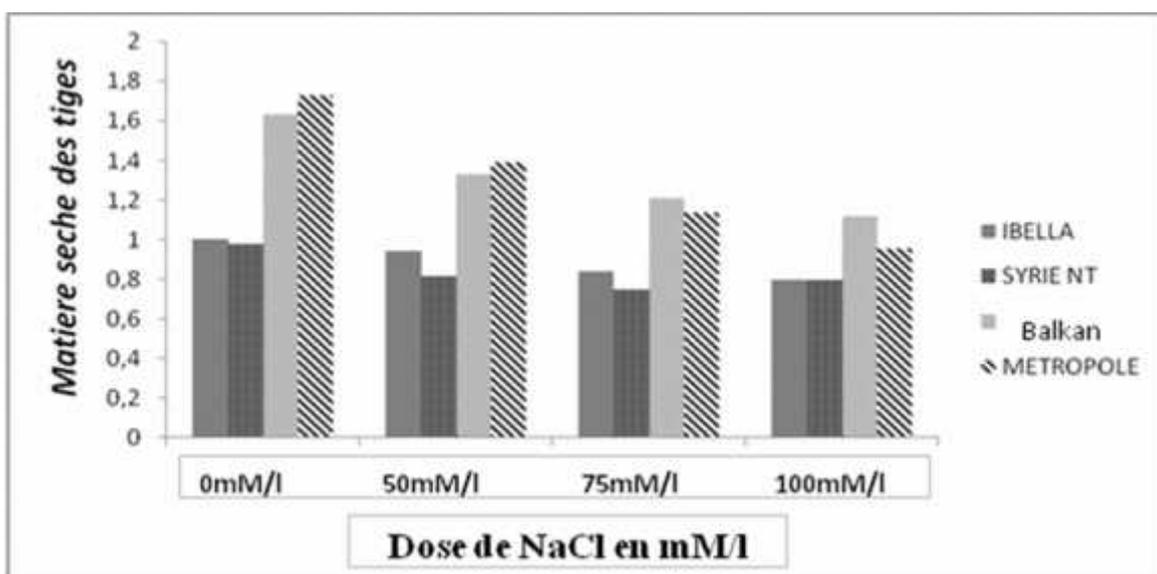


Figure 34 : histogramme comparatif de l'effet du stress salin sur la matière sèche aérienne (en g) des quatre variétés de *Lens culinaris*.

Matiere seche des racines

L'étude statistique des résultats obtenus (Tableau15), démontre que L'élaboration de la matière sèche racinaire est significativement influencé par le stress salin appliqué ($p=0.042$) d'une manière décroissante.

La valeur la plus élevée est enregistré par le génotype Metropole , 3g au milieu non salé et de même cette variété a enregistré la plus faible valeur (2g de matière sèche racinaire) au milieu plus concentré (100mM/l de NaCl).

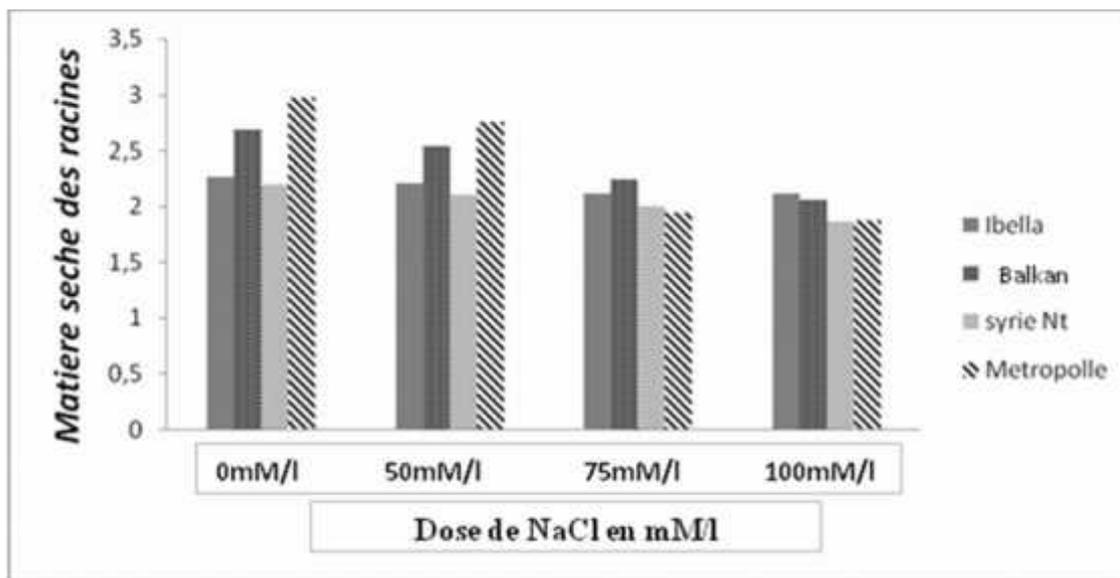


Figure 35 : Histogramme comparatif de l'effet du stress salin sur la matière sèche racinaire (en g) des quatre variétés de *Lens culinaris*.

Chapitre III

Discussion

La diversité des effets du sel sur les plantes offre une gamme importante de critères physiologiques et biochimiques qui peuvent être à la base de tests rapides pour une sélection à grande échelle. Par ailleurs, la résistance au sel constitue un caractère polygénique qui peut être contrôlé à différents niveaux d'organisation, de la cellule à la plante entière.

Les observations sur la germination en boîtes de pétri durant une semaine, concluent à des différences de comportement des graines des quatre génotypes de la lentille stressés au NaCl à des doses croissantes de 0, 50, 75 et 100 mM/l, nous a conduit aux observations suivantes :

- Bien que des différences dans le délai de germination des graines, s'expriment entre les quatre génotypes, les taux les plus élevés sont enregistrés par les graines du génotype *Balkan* avec 96% en milieu très salé (100mM/l de NaCl), une semaine après le début de l'expérimentation.

- La germination des graines s'atténue lorsque la concentration du sel augmente.

Les conclusions énumérées sur le taux de germination journalier et le taux de germination finales des quatre variétés indiquent que ces derniers sont affectés par l'augmentation des concentrations salines dans le milieu.

Chez le témoin, le taux de germination est compris entre 95 et 100% pour les quatre génotypes alors qu'il se situe entre 60 et 96 % pour les graines ayant subi un stress de 100 mM/l de NaCl . Des résultats similaires ont été signalés par plusieurs auteurs dont KHALID et al (2001), qui ont montré que pour deux génotypes de pois chiche soumis au stress salin, la capacité germinative a régressé de 60% par rapport au témoin.

Dans notre étude, on a observé un retard dans la germination des quatre génotypes de *Lens culinaris* L. En concordance avec les résultats de REJILI et al(2006), qui constatent que les semences de certaines glycophytes et halophytes réduisent le nombre total des graines germées et accusent un retard dans l'initiation du processus de la germination. Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal qui a été évoquée .

Nos résultats montrent clairement que les graines de quatre variétés germent mieux en absence de salinité. Les mêmes résultats sont rapportés par BLISS et al(1986), qui démontrent que le retard de germination des graines est dû au temps nécessaire à la graine de mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne.

1- Corrélation entre le stress salin et les paramètres physiologiques et biochimique

En effet, l'action de la salinité est remarquable, la figure 20 révèle que l'intensification du traitement salin sur les génotypes de *Lentille* s'accompagne d'une diminution du niveau d'hydratation.

Les résultats obtenus démontrent que la lentille présente une variabilité intra spécifique appréciable, des paramètres morpho-physiologiques d'adaptation au stress salin. La tolérance à cette contrainte est estimée principalement à travers les corrélations établies entre le stress appliqué et les différents paramètres étudiés.

Généralement, on estime que « la variété *Balkan* », maintient en condition de stress salin et par conséquent de déficit hydrique, un potentiel hydrique et une teneur en eau des feuilles supérieurs à ceux des variétés introduites, ce qui signifie que moins il y'a d'eau dans le sol et plus la

plante accumule de l'eau en réduisant sa transpiration. Cela est confirmé par KAPLAN et GATE, 1972 cité par HACHEMI, 2003.

L'analyse de la teneur relative en eau, permet de décrire d'une manière globale le statut hydrique de la plante et d'évaluer l'aptitude à réaliser une bonne osmorégulation et de maintenir une turgescence cellulaire (EI DJAAFARI, 2000).

Ces résultats démontrent que la salinité affecte ce paramètre qui diminue pour éviter les pertes d'eau. En effet, l'absorption d'eau est maintenue à un niveau suffisant pour éviter la déshydratation des tissus de la plante, pour établir le phénomène de succulence et pouvoir diluer le plus d'osmolytes possibles. (HASSANI et *al.*, 2009).

Les corrélations réalisées pour les paramètres étudiés révèlent des résultats hautement significatifs négativement entre la teneur relative en eau et le traitement salin après sept semaines de traitement. Plus le stress s'intensifie plus la teneur relative en eau (TRE ou RWC) chute. Ce résultat qui paraît évident est confirmé par de nombreuses études (ALI DIB, 1992).

Les résultats obtenus lors de cette recherche indiquent une augmentation des sucres solubles chez les plantes stressées comparées aux plantes témoins. En effet les mêmes observations sont constatées par CORTES et SINCLAIR (1987) qui trouvent une augmentation des sucres solubles chez plusieurs espèces exposées au stress salin.

Pour GEINGENBERGER et *al* (1997), ils attribuent l'augmentation des sucres solubles à une dégradation des réserves amylopectines suite à leur conversion rapide en saccharose, fait qui pourrait être attribué à une inhibition de la synthèse de l'amidon. Par contre, MELONI et *al* (2001), démontrent que l'ajustement osmotique serait accompli par l'accumulation des corps dissous organiques (sucres), et leurs concentrations augmentent proportionnellement à l'intensité du stress.

Nos résultats montrent une corrélation significative positivement entre la teneur de proline et le stress appliqué d'une manière croissante.

Ce qui est confirmé par ASPINAL et PALE (1981) in AGUENRAL (2001), qui signale que la proline est l'acide aminé le plus caractérisé des plantes soumises au stress salin, l'importance de la proline comme indicateur aux agressions semble jouer un rôle dans le maintien des pressions sol-vacuole, mais aussi dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques. Ainsi qu'un régulateur du pH, (ALEM et AMERI, 2005).

De même pour HERNANDEZ et *al*, (2000) in AGUENRAL (2001), qui ont constaté que le génotype tolérant accumule plus de proline que le génotype sensible de *Cicer arietinum*, à des concentrations inférieures à 100 mM de NaCl. Par ailleurs, la proline aurait aussi un rôle dans le mécanisme de l'osmorégulation.

Les résultats illustrés dans le tableau 08, montrent une corrélation négative entre le stress salin et les pigments chlorophylliens, alors plus la concentration de sel augmente plus la teneur des chlorophylles a et b et les caroténoïdes diminuent, ce qui influe négativement sur la photosynthèse des plantes stressées. ce qui est confirmé par (AGASTIAN et *al.*, 2000) qui observent que le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin.

Les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber pendant une période prolongée de stress salin. Par contre, WANG et NIL (2000) ont rapporté que le contenu de la chlorophylle augmente sous les conditions de salinité chez *Amaranthus*.

Pour le taux d'azote dans les feuilles, on a remarqué la diminution de ce taux chez les plantes dans les milieux très salés par rapport au témoin. En effet, la plante étudiée étant une légumineuse, la teneur de l'azote dans les feuilles est considérée comme un indicateur de la fixation symbiotique de l'azote par l'association Rhizobium-légumineuse. Ainsi, ce paramètre nous a permis de constater que la fixation biologique de l'azote est affectée négativement par le stress appliqué.

Par ailleurs, cette précédente constatation, est confirmée par les travaux de PARIDA et DAS(2005), qui ont signalé que l'exposition des racines nodulées au NaCl des légumineuses comme le soja et l'haricot cause une réduction rapide de la croissance végétale. De même que l'activité de la nitrogénase diminue chez le haricot par une exposition de courte durée à la salinité.

La diminution du taux d'azote dans les feuilles signalée dans notre travail est confirmée par FLORES et al(2000) et ABDELBAKI et al(2000), qui ont trouvé que cet effet de Cl^- semble être dû à la réduction de l'absorption du NO_3^- et par conséquent une concentration réduite de NO_3^- dans les feuilles. Chez le maïs (*Zea mays*) le taux des nitrates diminue dans les feuilles, mais augmente dans les racines sous le stress salin et l'azote des feuilles diminue aussi en situation de salinité.

2- Corrélation entre le stress salin et les paramètres morphologiques

L'optimisation de l'absorption de l'eau par les racines est en effet, liée à un ensemble complexe de caractères morphologiques comprenant la longueur, le volume et la rapidité d'installation du système racinaire ainsi que la ramification.

Selon les résultats obtenus, une forte relation négative est établie entre le volume du système racinaire et l'intensité du stress appliqué. Cette réduction du volume reflète l'inhibition de la croissance due au manque d'eau et une faible ramification du système racinaire.

Les mêmes résultats sont énoncés par BRUN en 1980, qui constate que l'excès de sel dans la rhizosphère conduit à la formation des plantes de courtes tailles voire des plantes naines.

La masse racinaire est moins affectée par la salinité que les limbes, les tiges et les pétioles. Ainsi, les résultats obtenus sur *Rétama retam* traitée à des doses de 50 à 300 meq/l de NaCl, donnent des racines moins affectées que les tiges et leur matière fraîche et sèche diminue sous l'effet du sel (IGHINHARIZ, 1990).

Le stress appliqué a provoqué une diminution de la racine principale et d'autre part le stress salin influe négativement sur la matière sèche aérienne et racinaire. En effet, les plantes témoins présentent des matières sèches racinaires et aériennes plus élevées que les plantes stressées.

Ces résultats sont confirmés et concordent avec ceux de CHARTZOULAKIS et KLAPAKI, (2000), qui ont montré que le stress salin conduit à la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, des tiges et des racines.

La salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire chez la tomate (MOHAMMED et al., 1998).

L'étude des résultats obtenus (tableau 15) montre que le rapport de la matière sèche racinaire sur la matière sèche aérienne est en corrélation négative avec l'intensité du stress salin appliqué. Cette corrélation s'est traduite par des valeurs de ce rapport MSR/MSA qui restent toujours supérieures chez les plantes témoins. Ceci indique que le stress salin a affecté de façon similaire les deux parties de la plante.

Concernant les nodules bactériennes, les résultats observés ont mis en exergue que les nodules se forment en absence et en présence du sel mais c'est le nombre de ces nodules qui est affecté, car il présente une réduction. De même que la taille, la forme et la couleur de ces nodules qui présentent des variations significatives chez les quatre génotypes utilisés et dans les quatre traitements salins.

De façon globale, la couleur varie du blanc vers la couleur marron sombre. Par ailleurs, la forme ovoïde signifie l'activité des nodules et la fixation d'azote, par contre la couleur blanchâtre et la forme sphérique signifient l'efficacité de ces nodules.

Alors d'après ces résultats et d'après la diminution de taux d'azote dans les feuilles, on conclut que l'activité rhizobienne des nodules est affectée par le stress salin.

Ces résultats sont déclarés par RAI et SINGH (2000), qui constatent que quelques légumineuses comme *Lens culinaris* forment une symbiose efficace tolérante au sel avec une sélection de souches de *Rhizobium* spp. isolée à partir de la lentille.

Conclusion

Conclusion

La salinité est un phénomène complexe qui conduit souvent à un stress osmotique du à la diminution des quantités d'eau disponible au niveau de la rhizosphère (JAGESH et al., 2009), suite à la réduction de l'aptitude des plantes à absorber l'eau (KHALOVA et al., 2009).

Par conséquent, cela provoque une baisse de croissance de la plante stressée (TESTER et DAVENPORT, 2003, KHAN et PANDA, 2008) et sa productivité de biomasse végétale (OUSLATI et al., 2009).

Les mécanismes de réponse aux stress font intervenir un certain nombre de réactions au sein du processus physiologiques de la résistance au sel.

La diversité des effets du sel offre une gamme étendue de critères éco-physiologiques et morphologiques qui peuvent être à la base de tests rapides, utilisables pour un tri à grande échelle.

L'identification des mécanismes de résistance demeure déterminante dans toutes les manipulations de création ou d'introduction de matériel végétal tolérant à cette contrainte abiotique.

Nous nous sommes intéressés dans notre travail à la réponse de quatre géotypes de

lens culinaris vis-à-vis des quatre doses croissantes de NaCl, soit 0 mM/l, 50mM/l, 75mM/l et 100 mM/l.

Les résultats de notre étude révèlent une variabilité intra spécifique par rapport à la tolérance au stress salin chez les différents géotypes étudiés. Cette variabilité concerne en premier temps la croissance et le rendement estimés par la mesure de quelques paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques, celle-ci étant complétée par le dosage de l'azote qui reflète la fixation biologique de l'azote par la symbiose lentille-Rhizobium sous la contrainte saline.

- Globalement nos résultats montrent un effet dépressif du sel sur la germination des graines et un effet variable sur les différents paramètres étudiés.

- Les résultats obtenus lors de la première étape de cette étude révèlent que la salinité affecte la germination des graines des quatre géotypes testés par un retard et une fluctuation du taux journaliers et la vitesse de germination. Le retard de germination des graines ainsi que la diminution du pouvoir germinatif des géotypes en fonction de salinité, sont dus au temps nécessaire à la graine de mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne.

Par ailleurs, on note que le géotype le plus résistant dans ce stade critique, au degré croissant de sel, est la variété Balkan avec 96% au 100mM/l de NaCl.

- En effet, l'action de la salinité est remarquable, les résultats révèlent que l'intensification du traitement salin sur les géotypes de *Lentille* s'accompagne d'une diminution du niveau d'hydratation.

- En outre, la teneur en chlorophylle a et b et en caroténoïdes varie, en s'abaissant sous le traitement salin imposé, ce qui influe négativement sur la photosynthèse des plantes stressées. Si bien que la chlorophylle a reste toutefois supérieur aux autres pigments.

- Les résultats obtenus lors de cette recherche indiquent une augmentation des sucres solubles chez les plantes stressées et ses teneurs sont plus élevées par rapport aux plantes témoins. Ces corps dissous organiques (sucres), accomplissent l'ajustement osmotique, par son accumulation et leurs concentrations augmentent par rapport à l'intensité du stress. (MELONI et al., 2004)

- Par ailleurs nos résultats montrent une corrélation significative positivement entre la teneur de proline et le stress appliqué d'une manière croissante. La proline joue un rôle dans le maintien des pressions sol-vacuole, dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques. ainsi qu'un régulateur du pH. (ALEM et AMERI, 2005).

- D'après ce qu'on a remarqué dans notre étude c'est la variété locale Métropole qui accumule plus de proline et plus de sucres solubles au milieu plus stressé (100mM/l de NaCl) par rapport aux autres variétés.

- L'étude de l'effet de la contrainte saline sur la teneur d'azote dans les feuilles, a montré que le traitement salin a négativement affecté la fixation symbiotique azotée de l'association **Lentille-Rhizobium**, par la diminution de ce taux chez les plantes stressées dans les milieux les plus concentrées par rapport aux témoins.

- En effet la fixation azotée semble être plus affectée chez la variété Syrie NT qui présente moins d'azote 0.5% dans la matière sèche de ses feuilles par rapport les autres variétés dans le milieu le plus concentré (100mM/l de NaCl). Par contre la variété Balkan présente plus d'azote 0.75% dans sa matière sèche racinaires au traitement salin 100 mM/l de NaCl.

- L'effet de la salinité sur la croissance de la tige et de la racine varie en fonction de la variété, et de la concentration de NaCl dans le milieu.

- Le stress s'accompagne d'une modification régressive des racines en fonction de la composition du substrat. Cette dynamique racinaire est représentée principalement par une réduction de la longueur par rapport au témoin. De même que le volume racinaire est fortement réduit ($r=-550^{**}$).

- En outre, sous cette contrainte, nous avons constaté des réductions dans la matière sèche des deux parties aérienne et racinaire. Ainsi qu'une diminution de son rapport par l'intensification du stress appliqué.

- L'ensemble des données obtenues montre que les quatre génotypes étudiés pour leur sensibilité contrastée au stress salin forment des nodosités bactériennes aux niveaux des racines, mais avec une chute dans le nombre de ces racines avec l'intensification du stress. En effet la variété Métropole forme plus de 90 nodules dans un milieu non salé et réduit son nombre de nodules jusqu'aux 30 nodules au traitement plus concentré (100mM/l de NaCl). Cette chute de nombre est accompagnée par une réduction de la taille des nodules et une modification dans la couleur et la forme.

L'étude de l'effet de la salinité sur la croissance de *Lens culinaris* et l'apparition des nodules, la fixation d'azote (déterminée par le teneur d'azote dans les feuilles), nous a permis de conclure que la salinité a un effet dépressif sur la croissance des plantes, l'activité bactérienne de

Rhizobium et de la performance symbiotique chez la combinaison testée avec une variation remarquable entre les quatre variétés de lentille.

En effet, L'ensemble des données obtenues montre que les quatre génotypes étudiés présentent des comportements qui peuvent être différents en termes de réponse au stress salin. Et les génotypes Balkan et métropole présentent plus de résistance envers le stress que celle de Syrie NT et Ibela.

Les résultats aux quelles nous nous somme parvenu demeurent parcellaires mais contribuent forcément a l'enrichissement des travaux visant a créer un matériel végétal à capacité de tolérance au stress salin plus prononcé.

Références bibliographiques

- ABDELBAKI. G. K., F. SIEFRITZ., H. M. MANN., H. WELNER., R. KALDENHOFF and W. M. KAISER., 2000 :** Nitrate reductase in *Zea mays L* under salinity. *Plant Cell Environ.* 23 : 15-521.
- A**
- **ACEVEDO A., JOSE T., JOAQUIM EF., CLANDIVAN F., DASILVA V., PAULO H. And ENEAS., 2004:** Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. **Braz. J. Plant Physiol.** 16; N°.1.
 - **AGASTIAN P., KINGSLEY. S.J., VIVEKANANDAN. M., 2000 :** Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica* 38, 287-290.
 - **ALBERTA ENVIRONNEMENT., 2001 :** Salt contamination assessment and remediation guidelines. ENV-190-OP, www.gov.ab.ca
 - **ALEM. C., AMRI. A., 2005 :** Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. Vol 4 Maroc, PP 20-32.
 - **AL-KARAKI G N., 2000:** Growth, water use efficiency, and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*; 23 (1): 1-8.
 - **AUBERT.G., 1980 :** Observations sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols dits (salés) ou salsodiques. *Cahier d. ORSTOM, série. Pédologie*, XX, 1, pp. 73 -78.
 - **AYERS. R.S., KTANJI., 1981 :** An application from AYERS and WESCOTS for irrigation. FAO irrigation and drainage paper NO.29 Rev. I. originally published as an Ask 1981 water from conference proceeding.
- B**
- **BAATOUR O., M'RAH S., BEN BRAHIM N., BOULESNEM F., LACHAAL M., 2004 :** Réponse physiologique de la gesse (*Lathyrus sativus*) à la salinité du milieu. *Revue des Régions Arides*; 1: 346- 358.
 - **BATAMOUNY. K., 1993 :** Adaptation of plants to saline condition in arid regions, faculty of science CAIRO. University. Egypt Accad Publisher in Netherlands. PP13-20.
 - **BELKHODJA, M., 2000 :** La réponse ecophysiologique de l'Atriplex aux hautes salinités au stade de la germination des graines. *Revue scientifique « Ecosystems »*, Université Sidi Belabes / INRAA ouest. ; 1 (1): 51-56.
 - **BELKHODJA. M., SOLTANI., 1992 :** Réponses de la fève à la salinité. 139, sécheresse,

- **BELKHODJA.M et BIDAÏ.Y., 2004** : Réponse de la germination des graines d'*Atriplex halimus* L. sous stress salin. Revue Sécheresse, N°4, vol.15, 331-335.
- **BEN NACEUR M., RAHMONE C., SDIRI H., MEDDAHI 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. Sécheresse; 3 : 167-174.
- **BENACEUR. M., RAHMOUN.C., SDIRI.H., MEDAHI.M., SELMI.M., 2001** : Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. Secheresse, 12 (3): 167-174.
- **BENLARIBI. M., 1990** : Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur ; Etudes des caractéristiques morpho-physiologiques.Université de Constantine, Algérie, *Thèse Doctorat es Sciences*,
- **BOUALLA NABILA., BENZIANE AHMED., ET DERRICH ZOUBIR., 2012** : Origine de la salinisation des sols de la plaine de M'leta, Oran Algérie Journal of Applied Biosciences 53: 3787 – 3796 ISSN 1997–5902
- **BOUAZZA.M., BENABADJI.N., LOISEL.R., METGE.G., 2004** : Contribution à l'étude bioclimatique de la steppe à *Artemisia herba-alba* dans l'Oranie (Algérie occidentale) *Ecologia mediterranea* 2004, vol. 30, n°2, pp. 219
- **BRADY. N.C., WEIL. R.R., 2002** : The nature and properties of soils. 13th edn. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- **BROUGHTON WJ:** Hernandez G, Blair M, Beebe S, Gepts P, Vanderleyden J (2003) Bean(*Phaseolus* spp.) . model food legumes. *Plant and Soil* 252: 55–128
- **CHADLI. R., BELKHODJA.M., 2007** : Réponses Minérales Chez la Fève (*Vicia faba* L.) Au stress salin. *European Journal of Scientific Research* Vol.18. No.4 , pp. 645 - 654
- **CHAMAYOU.H., LEGROS., JP., 1989** : Les bases chimiques, physiques et minéralogiques de la science du sol, Ed presse universitaires; Paris, pp 223- 225.
- **CHARTZOULAKIS. K., KLAPAKI. G., 2000** : Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hortic.* 86, 247-260.
- **CHAVES. M., PEREIRA. J. S., 2003:** Understanding plant responses to drought-from genes to the whole. *Funct. Plant. Biol*, 30: 239 - 264.
- **CHEVERRY.C., 1994** : Plant behaviour in saline environment. Action eau N°4, Séance spécialisée du 22 mars 1995; Ed. Acad. agro, Paris, France, 49 p. de l'ACAD d'AGRIC De France. Action n° 04. *Revu. Bimestrielle*; 1995 ; 81 (2) : 42-46.

- D**
- **CLAUSSEN. K., LUTHEN. H., BLATT. M., BOTTGER. M., 1997** : Auxin induces growth and its linkage to potassium channels. *Planta* 201 : 227-234.
 - **DIGBY. C, SHORT. E, TIMOTHY. D,** Salt Tolerance in the Halophyte *Halosarcia pergranulata sub sp. Pergranulata*. *Annals of Botany* 83: 207-213
 - **DJAMEL. R., 1993** : Contribution a l'étude de la salinité des sols et eaux du lac FETZARA. ANNABA. Thèse Magistère INA *Alger*.
 - **DJILI. K., DAOUD. Y., 2000** : influence des hauteurs des précipitations sur la répartition du calcaire et du pourcentage de sodium échangeable dans les sols du Nord de l'Algérie. *Sécheresse* vol. 11, (1), p.37-43.
 - **DOUAOUI A., HARTANI T., 2007** : Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif. Actes de l'atelier régional SIRMA. Tunis.
 - **DOUAOUI. A., GASCUEL-ODOUX. C et WALTER. C., 2004** : Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chélif (Algérie) Mesures au laboratoire sous simulation de pluie ; *Étude et Gestion des Sols, Vol. 11, 4; pp 379- 392*
 - **DOUDECH. N., M HAMDI. M., BETTAIEB. T ET DENDEN. M., 2008** : Tolérance à la salinité d'une graminée à gazon: *Paspalum notatum* Flüggé ; *TROPICULTURA*, 26, 3, pp 182-185
 - **DREIR.W, 1978** : Elaboration d'un test de présélection des variétés de plantes ayant une haute tolérance en accumulation de la proline, Institut d'agronomie INA El Harrach, Alger.
 - **Droubi. A, 1976** : Géochimie des sels des solutions concentrées par évaporation. Modules thermodynamiques de simulation, application aux sols sals du Tchad. Mémoire Docteur-Ingénieur (Sciences géologiques, 46), ULP, Strasbourg, France, 177 p.
 - **DUCHAUFFOUR.P., 1983**- Pédologie 1 : .pédogénèse et classification. Ed Masson. pp. 468-470. Estimating data quality, *Near Surface Geophysics*, 2005, 3, 187 -194.
- F**
- **FLORES. P., BOTELLA. M.A., MARTINEZ. V., CEDRA. A., 2000** : Ionic and osmotic effects on nitrate reductase activity in tomato seedlings. *J. Plant Physiol.* 156, 552-557.
- G**
- **GHASSEMI. F., JAKE MAN A.J and NIX. H.A., 1995** : Stalinization of land and water resources. Human causes, axtent, management and case studies Australia – Center for resources and Environmental studies. 520p.
 - **GIRARD. J. F., LEGCHENKO. A and BOUCHER M., 2005** : Stability of MRS signal and

- H**
- **HASSANI. A., DELLAL. A., BELKHODJA. M., et KAID – HARCHE. M., 2008 :** Effet de la Salinite sur L'eau et Certains Osmolytes Chez L'orge (*Hordeum Vulgare*). European Journal of Scientific Research; Vol.23 No.1 ; pp.61-69
 - **HERNANDEZ., J.A., A.JIMENEZ., P. MULLINEAUX AND F. SEVILLA., 2000 :** Tolerance of pea (*pisum sativum L.*) to long term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. Plant Cell Environ., 23 : 853-253.
 - **HOPKINS. W.G., 2003 :** Physiologie végétale. Traduction de la 2^{ème} édition américaine par SERGE R. Ed. De Boeck, p 66-81.
- I**
- **IRD., 2008 :** Les dossiers thématiques de l'Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles : 1er partie Salinisation et sodisation des sols. 2ème partie La dégradation des sols par salinisation ou alcalisation.<http://www.mpl.IRD2008.fr/suds-enligne/sols/fragile/salinisation1> .<http://www.mpl.IRD2008.fr/suds-enligne/sols/fragile/dégradation1>.
- J**
- **JIA. W., WANG. H., ZHANG. CH., ZHANG. J., 2002 :** Stress salt-induced ABA accumulation is more sensitively triggered in roots than in shoots. J Exp Bot 53 : 2201-2206.
- K**
- **KACI. S., BISSATI. S. et DJERROUDI. O., 2012 :** EFFET D'UN STRESS SALIN SUR LA RÉPONSE MINÉRALE D'*Atriplex canescens* (PURSH) NUTT 48-58 Revue des BioRessources Vol 2 N 2 Décembre 2012.
 - **KATEMBE. WJ., UNGAR IA., MITCHELL. JP., 1998:** Effect of salinity on germination and early seedling growth of two *Atriplex* species (*Chenopodiaceae*). Ann. Bot. 167-75.
 - **Khan MA, Rizvi Y., 1994:** Effect of salinity, temperature and growth regulators on the germination and early seedling growth of *Atriplex griffithii* var. *stocksii*. Can. J. Bot. 72 475-9.
- L**
- **LASRAM. M., 1995:** "Salinity problems in the mediterranean's area", Ed. *Academie de Paris*, N°2, séance spécialisée du 22 Mars 1995;
 - **LAZREK FATMA - BEN FRIHA., 2008 :** Analyse de la diversité génétique et symbiotique des populations naturelles tunisiennes de *Medicago runcatula* et recherche de QTL liés au stress salin, 98.
 - **Le Borgne. T., 2010 :** Caractérisation et quantification des éléments perturbateurs de prise lors du traitement des sols. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine.

- **LEGOUPIL. JS., 1974** : Evolution de la salure de sol sous irrigation, résultat expérimentale station INRA.
- **LELIEVRE. F., 1999** : L'eau et les plantes, Tome 1, milieu naturel et maîtrise. Edit. INRA. Montpellier, pp137-158.
- **LEPORT. L., 1992** : Accumulation de proline associée aux contraintes environnementales et à la floraison chez le colza (*Brassica napus* L). Thèse D'état. 156 p. Rennes,
- **LEVIGNERON.A, LOPEZ.F, BERTHOMIEU.P, CASSE-DELBART. F., 1995** : Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agriculture* ; 4:263-273. France.
- **LEVITT. J., 1980** : Respons of plants to environmental stresses : water, radiation, salt and other stresses, Academic Press, New York, pp. 365-488.
- M** • **MARTINEZ. JP, SILVA.H, and PINTO. M., 2007**: Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) European journal of agronomy. Jan., Vol. 26,1,p. 30-38.
- **MARTOJA M. et MARTOJA R., 1968** : Initiation aux techniques de l'histologie animale. Ed MASSON. Paris, 345 p.
- **MAYER. AM., POLJAKOFF-MAYBER. A., 2006**: the germination of seeds.Macmillan, New York, NY 1963.
- **MELONI. D.A., OLIVA. M.A., RUIZ. H.A., MARTINEZ. C.A., 2001** : Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant Nutr.* 24, 599-612.
- **MEZNI M., ALBOUCHI A., BIZID E., HAMZA M., 2002** : Effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la nutrition minérale chez trois variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa*) .*Agronomie*; 22: 283-291.
- **MICHEL. CG et al., 2005**: Sols et environnement Dunod, Paris, Pp: 609; 612; 620.
- **MOHAMMAD. M., SHIBLI. R., ADJOUNI. M., NIMRI. L., 1998** : Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *J. Plant Nutr.* 21, 1667-1680.
- **MUNNS. R., JAMES. R. A., LAUCHLI. R., 2006**: Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*; 57 (5): 1025-1043.
- O** • **OBER. ES., SHARP. RE., 1994** : Proline accumulation in maize (*Zae Mays* L.) primary roots at low water potentials.I. requirement for increased levels of abscisic acid. *Plant Physiol* 105 : 981-987.
- **ONS., 2004** : Office National au statiques ; Ministère de l'Agriculture, Algerie.

- **OTTOW.E., BRINKER.M., TEICHMANN.M., And POLLE.W., 2005:** Populus euphratica Displays Apoplastic Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases Ca^{++} and Soluble Carbohydrates, and Develops Leaf Succulence under Salt Stress. Plant Physiology, Vol.139, pp. 1762–1772,
- **OZENDA. J., 1983 :** Flore du SAHARA (2^{ème} édition), Ed. CNRS; 1983; 56-63
- P** • **PARIDA. A.K and DAS., 2005:** Salt tolerance and salinity effects on plants: A.Rev.Ecotoxicol. environ. Safety, 60:324-349.
- **PHELIPPE. D., 2001:** Introduction à la science du sol. Dunod, Paris, Pp: 263; 264; 265.
- Q** • **QUADIR. M and COSTER. J. D., 2004:** Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. Science of the Total Environment 2004, 1-19.
- S** • **SAID BOUDAA, B, ABDELMAJID HADDIOUB., 2011 :** effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre atriplex *Revue «Nature & technologie ». n° 05/Juin 2011.*
- **SHABALA. S., SHABALA. L., NEWMAN. J., 2005:** Effect of divalent cations on ion fluxes and leaf photochemistry in salinized barley leaves. J. of Exp. Bot. 56, 415:1369-1378.
- **SHANNON. M.C., 1984 :** Breeding selection and the genetics of salt tolerance. Salinity in plants Eds. RC Staples and GH Toenniessen pp. 231-254 John Wiley.
- **SNOUSSI ., 2001:** Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. These doctorat d'état INA El Harrach.
- **SOLTNER. D., 1999 :** Les grandes productions végétales « 19^{ème} édition », Sciences et Techniques agricoles, "les Clos lorelle" Angers 464pages (pp. 24-67).
- **SZABLOCS I., 1994:** Soils and salinization. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York; 3-11.
- T** • **TROLL.W. and LINDSLEY.J., 1955:** A photometric method for the determination of proline; J. Biochem: 655-660.
- U** • **U. S .SALINITY LABORATORY STAFF., 1954:** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, U.S.D.A. Handbook n° 60, 160 p
- W** • **WANG. J., WU. W., ZUO. K., LIN. J., LI. X and TANG. K., 2004:** Isolation and characterization of a serine/threonine protein kinase SOS2 gene from *Brassica napus*. Cellular and Molecular Biology. 9: 465 – 473
- **WANG. Y., NIL. N., 2000 :** Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in Amaranthus tricolor leaves during salt stress. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 75, 623-627.

- **WU. Y., SPOLLEN. WG., SHARP. RE., HETHERINGTON. PR., FRY. SC., 1994 :** Root growth maintenance at low water potentials increased activity of xyloglucan endotransglycosylase and its possible regulation by abscisic acid. *Plant Physiol* 106 : 607-615.
- **WYNJONES R.G., GOHRAM. J., Mc DONALD. E., 1984:** Organic and inorganic solute contents as selection criteria for salt tolerance in Triticeae; In *Salinity tolerance in plant*; Eds.J.Wiley; New York;: 189-203
- Z** • **ZHANG. HX., HODSON. JN., WILLIAMS. JO., BLUMWALD. E., 2001 :** engineering salt-tolerant Brassica plants : characterization of yield and seed oil quality in transgenic plants with increased vacuolar sodium accumulation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98 : 12832-12836.
- **ZHU. JK., 2002 :** Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Bio* 53 : 247-273.
- **ZHU. JK., 2003 :** Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinio in plant biology* 6 : 441-445.

Annexe 01

Les analyses de sol

Les analyses de sol sont effectués à l'INSID (Institut national de sol et de drainage), station de Ksar Chellala Tiaret.

1. La salinité

La salinité d'un sol s'apprécie par la conductivité électrique dont la valeur croît en fonction de la concentration en sels solubles dans le sol. La conductivité électrique du sol (CE) est déterminée à partir d'un extrait de sol dilué au 1/5 puis mesuré à l'aide d'un conductivimètre.

Un échantillon de 10g de sol est séché dans une étuve à 105°C pendant 24 heures puis on lui ajoute 100 ml d'eau distillée. Après agitation, le mélange est laissé au repos puis il est filtré. Enfin, la lecture de la C.E se fait au conductivimètre à 25°C.

2. le PH

Le PH est mesuré dans une suspension de terre fine et d'eau distillée. Le rapport sol/liquide est de 1/5. Le pH est mesuré après deux heures de repos. La lecture se fait à l'aide d'un pH mètre préalablement étalonné.

3. Calcaire Total

Le dosage du calcaire total est fonde sur la réaction caractéristiques de carbonate de calcium au contact de l'acide chlorhydrique.

A l'aide de calcimètre de BERNARD, il s'agit de comparer le volume de CO₂ dégagé par le contact de HCL avec un certain poids connu de terre. Le volume de CO₂ dégagé est proportionnel a la teneur en carbonate de calcium.

4. Calcaire actif

Le dosage du calcaire actif est basé sur la propriété du calcaire à se combiner à l'oxalate d'ammonium. L'excès de ce dernier est titre par manganimétrie.

5. Carbone organique

ANNEXE

Selon la méthode d'ANNE(1945), le carbone est oxyde par le bicarbonate de potassium en présence d'acide sulfurique. L'excès de bichromate est titre par le sel de MHOR en présence de diphénylamine et le fluorure de sodium.

La quantité réduite est proportionnelle à la teneur en carbone organique .Ce dernier est lié à la matière organique par la relation suivante : $Mo(\%)=1.72*C(\%)$.

6.Texture

La détermination de la texture des échantillons étudiés a été faite par centrifugation qui se base en quelque sorte sous une force centrifugeuse.



Figure 36 :Conductimètre



ANNEXE

Figure 37 : Pipette de ROBINSON utilisée dans la granulométrie



Figure 38: pH mètre

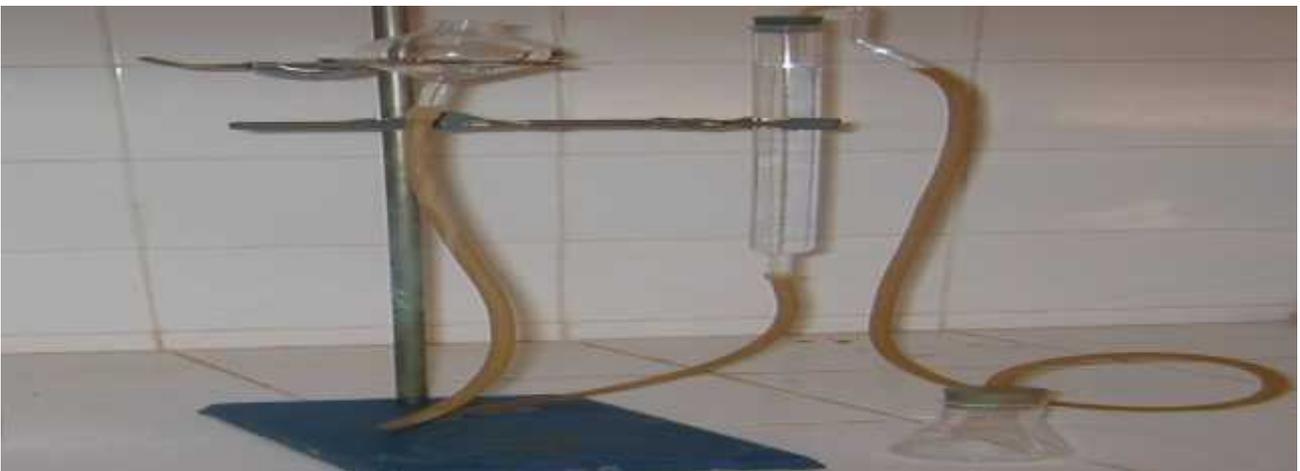


Figure 39 :Calcimètre de BERNARD

Annexe 02

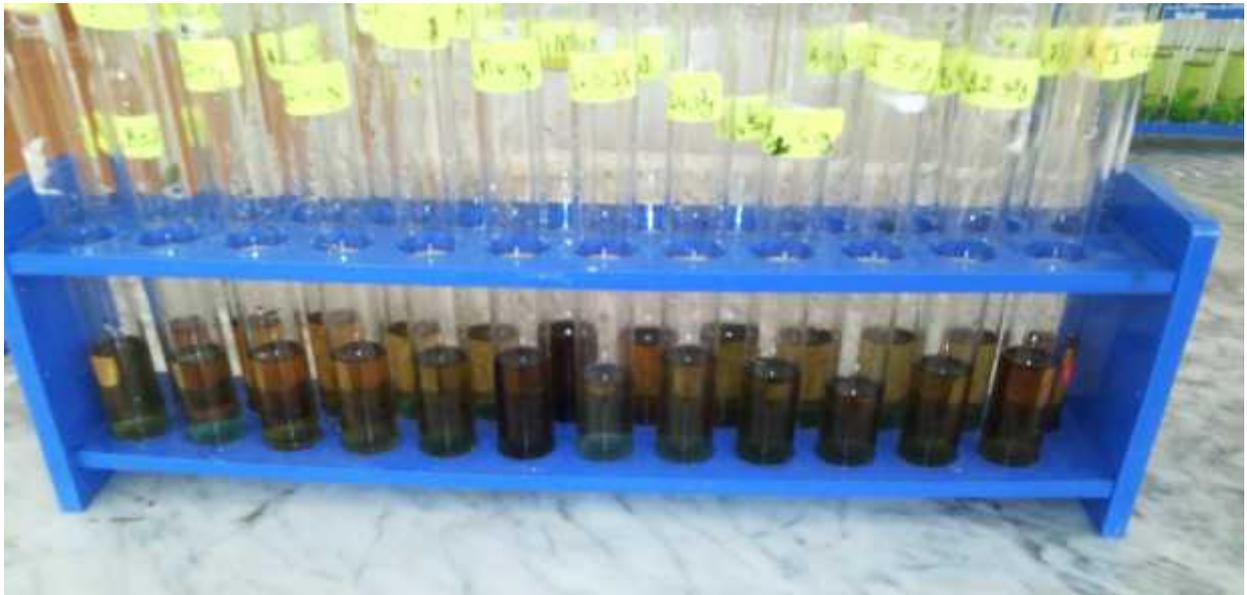


Figure 40: Dosage des sucres solubles

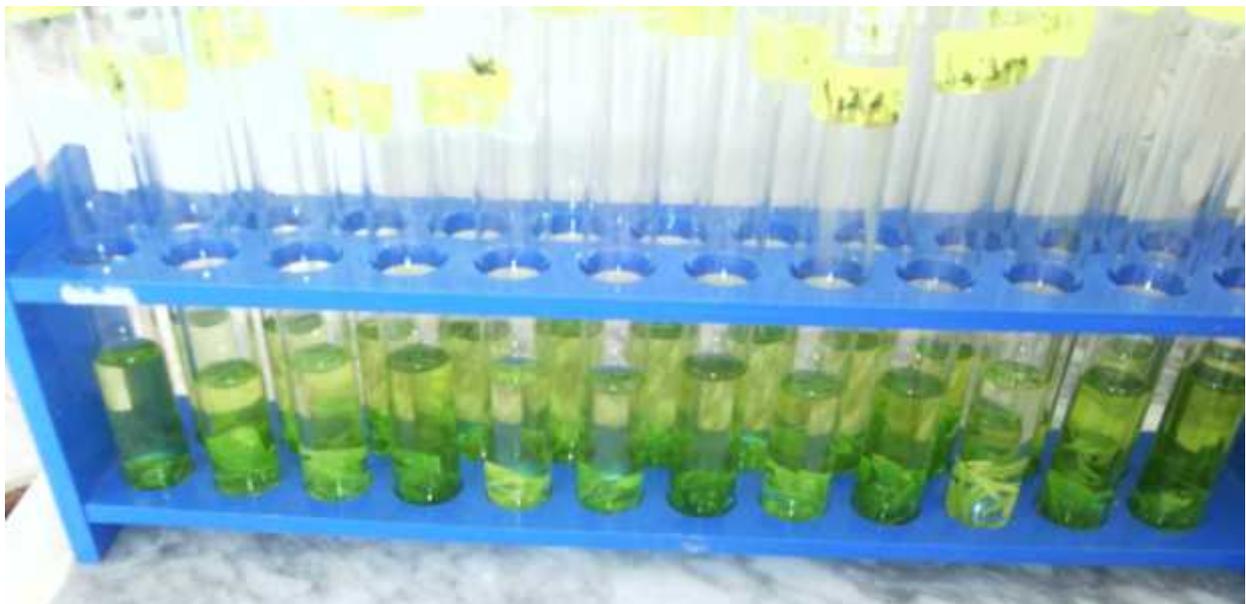
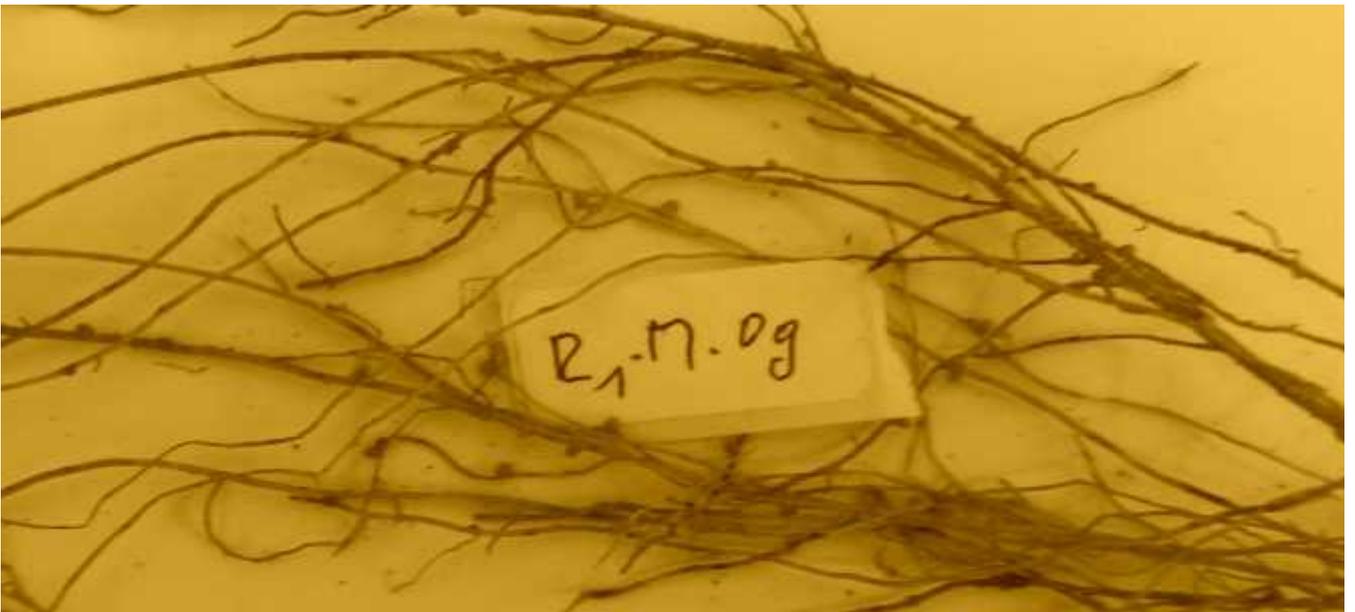


Figure 41 : Dosage des pigments chlorophylliens

Annexe 03



Figure42 : la germination de *Lens culinaris* après une semaine.



**Figure 43 : schéma des racines avec des nodosités bactériennes dans un milieu non salé.
Variété Métropole de *Lens culinaris* L.**

Résumé

La salinisation des sols et de l'eau, est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale, et le rendement agricole. L'intérêt porté aux caractères morphologiques et biochimiques d'adaptation des plantes cultivées aux contraintes environnementales a suscité l'attention de nombreux chercheurs. Dans cet intérêt et dans le but de comparer la sensibilité au sel de la lentille (*Lens culinaris L*), nous avons effectué des analyses qui sont réalisés sur quatre variétés de lentille (une locale (métropole) et trois introduites (Balkan, Ibela, SyrieNt), soumises à un stress salin pendant sept semaines avec des doses croissantes de NaCl (0mmol/L, 50mmol/L, 75mmol/L et 100mmol/L).

Nos résultats obtenus montrent que le stress salin a un effet dépressif sur la croissance de la lentille, et les quatre génotypes ont des réactions différentes vis-à-vis les doses croissantes de NaCl. En effet, au stade germination le génotype Balkan est le plus tolérant à la salinité avec un retard de germination pour les quatre variétés ; tandis que pour le comportement général de quatre génotypes, les deux variétés Balkan et métropole s'avèrent les plus tolérants par rapport aux deux autres génotypes. Nous constatons que la stratégie d'adaptation préconisée par la variété locale Métropole est d'accumuler plus de sucres solubles et plus de proline dans les feuilles.

L'étude de l'effet de la contrainte saline sur la teneur d'azote dans les feuilles, a montré que le traitement salin a négativement affecté la fixation symbiotique azotée par l'association **Lentille-Rhizobium** par la diminution de ce taux chez les plantes stressées dans les milieux les plus concentrés par rapport au témoin avec une réduction dans le nombre des nodules bactériennes au niveau des racines.

En effet, L'ensemble des données obtenues montre que les quatre génotypes étudiés présentent des comportements qui peuvent être différents en termes de réponse au stress salin. Et les génotypes Balkan et métropole présentent plus de résistance envers le stress que celle de Syrie NT et Ibela.

Mots clés :

Stress Salin; Lentille (*Lens Culinaris L*); Génotype; Adaptation; Proline; Nodules; Rhizobium; Germination; Croissance; Azote.

