

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'Sila

FACULTE SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
N° : 42/DSA/2022



DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE
FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES
OPTION : PRODUCTION VEGETALE

**Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master Académique**

**par: MOHAMADI Fatima
LATRECHE Cheyma
BOUAFIA Lamria**

Intitulé

**Réponses éco physiologiques à la salinité
Chez deux populations de *Medicago sativa***

Soutenu devant le jury composé de:

Melle . TIR Chafia	MAA	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Président
M. TORCHIT Nadir	MAA	Université Med BOUDIAF - M'SILA	Rapporteur
Mme LALLOUCHE Bahia	MCA	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Examinateur

Année Universitaire : 2021 /2022

REMERCIEMENTS

Louanges à «Allah» le tout puissant et le miséricordieux qui nous a guidés vers cette issue.

Nos remerciements vont à notre promoteur Mr **TORCHIT .N** qui a accepté avec toute modestie de nous encadrer malgré ses multiples charges. Nous le remercions pour son aide, sa grande patience, sa disponibilité et ses conseils précieux qui ont conduit à l'achèvement de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de notre plus profond respect et notre profonde gratitude.

Nos remerciements vont aussi à Melle. **TIR .C** d'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury et à **Mme LALLOUCHE . B** d'avoir pris le temps pour examiner et juger ce travail.

Nous remercions également les membres de laboratoire du département des sciences agronomiques, surtout **Mme DAHMECHE Merzaka , Amina et Mr ben yahia** responsable de la serre expérimentale.

Merci à tous.

TABLE DE MATIERS

LISTE DES ABRÉVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION

Première partie : Synthèse bibliographique.

Chapitre I : Les légumineuses fourragères.

I.1.Généralité sur les légumineuses fourragères.....	3
I.2.Importance économique des légumineuses fourragères.....	4
I.2.1 . Dans le monde	4
I.2.2 . En Algérie.....	4
I.3 . Espèce étudiée : La luzerne (Medicago sativa).....	4
I.3.1 . Présentation de l'espèce	4
I.3.1.1 . Origine de la luzerne.....	4
I.3.1.2 . Anatomie de la luzerne.....	5
I.3.1.3 . Taxonomie et classification botanique.....	7
I.3.1.4 . Morphologie de la luzerne.....	8
I.3.1.5 . Cycle de développement de la luzerne.....	9
I.3.1.5.1.Cycle de vie	10
I.3.2.L'importance de la luzerne.....	11
I.3.2.1 . Dans le monde.....	11
I.3.2.2 . En Algérie.....	11
I.3.3 . Exigences de la culture de la luzerne	11
I.3.3.1 . Exigences climatiques	11
I.3.3.2 . Exigences hydriques	12
I.3.3.3 . Exigences édaphiques.....	12
I.3.3.4 . Exigences en éléments minéraux.....	13
I.4 . Importance de la culture de la luzerne	13
I.4.1 . Importance agronomique.....	13
I.4.2 . Importance écologique.....	14

I.4.3 . Importance socioéconomique.....	15
---	----

Chapiter II : la salinite.

II.1 . Généralités sur la salinité.....	16
II.1 1. Définition de sols salés	17
II.1.2 . Caractères Généraux	17
II.1.3 . Classification des sols salés.....	19
II.1.3.1 . Sols salés.....	19
II.1.3.2 . Les sols à alcali non salés.....	19
II.1.3.3 . Les sols à alcali salés	20
II.2.Les sols salés dans le monde et en Algérie.....	20
II.2.1 . Sols salés dans le monde.....	20
II.2.2.En Algérie.....	22

CHAPITRE III : NOTION D'ENSEMBLE SUR LE STRESS SALIN ET SON EFFET SUR LES PLANTES .

III.1 . Notion sur le stress salin	24
III.2 . Effets de la salinité sur les plantes	24
III.2.1 . Effet de la salinité sur l'état hydrique de la plante	25
III.2.2 . Effet de la salinité sur l'équilibre ionique.....	25
III.2.3 . Effet sur la germination et la levée	26
III.2.4 . Effet sur la croissance et le développement.....	27
III.2.5 . Effets de la salinité sur la photosynthèse.....	28
III.2.6 . Effet de la salinité sur la nodulation	29
III.2.7 . Effets de la salinité sur le métabolisme azoté	29
III.3 . Classification des plantes en fonction de leurs tolérances à la salinité.....	30
III.4 . Mécanismes de la tolérance des plantes à la salinité.....	32
III.4.1 . Exclusion	32
III.4.2 . Inclusion.....	32
III.4.3 . Ré excrétion	33
III.5 . Mécanismes d'adaptation à la salinité.....	33
III.5.1 . Une utilisation efficace des ions dans le maintien de la turgescence.....	33

III.5.2 . Une bonne compartimentation vacuolaire de Na + et Cl- au niveau des feuilles.....	33
III.5.3 . Une sélectivité d'absorption et de transport en faveur de K + malgré l'excès de Na+.....	34
III.5.4 . Accumulation d'osmoprotectants	34
III.5.5 . Synthèse des anti - oxydants	34
III.5.6 . Régulation de la croissance.....	35
III.5.7 . Induction d'hormones végétales	35

Deuxième partie : Etude expérimentale.

Chapitre I : Matériels et méthodes .

I.1 . Le but de l'expérimentation	37
I.2 . Matériel végétal	37
I.2.1 . Caractéristiques des variétés étudiées.....	37
I.3 . Méthodologie	37
I.3.1 . Préparation du substrat.....	37
I.3.2 . Semis	38
I.3.3 . Préparation des solutions salines	38
I.3.4 . Application du stress salin Le stress	38
I.3.5 . Détermination de la capacité de rétention en eau du sol.....	38
I.4 . Dispositif expérimental.....	39
I.5 . Paramètres mesurées	40
I.6 . Analyse statistiques	40

Chapitre II : résultats et discussion.

II.1. Effet de la salinité sur la longueur de la partie aérienne.....	47
II.2. Effet de la salinité sur la longueur de la partie racinaire.....	49
II.3. Effet de la salinité sur le nombre de feuilles.....	51
II.4. Effet de la salinité sur le poids frais de la partie aérienne.....	52
II.5. Effet de la salinité sur le poids frais de la partie racinaire.....	54
II.6. Effet de la salinité sur la teneur en proline des feuilles.....	55

II.7. Effet de la salinité sur la teneur en sucres.....57

CONCLUSION61

Référence bibliographique

Annexes

Liste des abréviations :

Ca⁺ : Calcium

Cm : centimètre

K : potassium

Mg²⁺ : Magnésium

SO₄ : Sulfate

NO₃⁻ : Ion nitrate

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

PH : potentiel Hydrogène

CE : Conductivité électrique

ESP : Le taux de sodium échangeable

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations

INSID : Institut National des sols , d'Irrigation et de Drainage

WRB : World Reference Base for Soil Resources

WRI : World Resources Institute

ONID : Office National d'Irrigation et de Drainage

CPCS : Commission de pédologie et de cartographie des sols

USDA : United States Department of Agriculture

S : significative

HS : Hautement significative

THS : très Hautement significative

ITCF : Institut Technique des Cultures fourragères

m : Mètre

ml : Millilitre

mm : Millimètre

MS : Matière Sèche

M. sativa : Medicago sativa

MF : Matière fraîche

ha : Hectare

Cl⁻ : Ion chlorure

Na⁺ : ion sodium

NaCl : le chlorure de sodium

NO₃ : Ion nitrate

µg : microgramme

SO₂ : dioxyde de soufre

C° : degré Celsius

g / L : Gramme par litre

Meq / L : milliéquivalent par litre

mg : milligramme.

% : pourcentage

ds : Dsi – Siemens

CE: conductivité électrique.

ms/cm: milisiemens/centimetre

ug/100mg de MF: microgramme /100 milligramme de matiere fraiche.

Listes des figures

Partie bibliographique

Figure I.1 : Développement d'une plante de luzerne	6
Figure I.2 : Morphologie de la luzerne (<i>Medicago sativa L</i>)	8
Figure I.3 : Cycle de développement de la luzerne pérenne	10
Figure II.1 : Carte des zones arides dans monde	19
Figure II.2 : Répartition des sols salins du nord de l'Algérie.....	21
Figure III.1 : Effet du stress salin sur la photosynthèse.....	29
Figure III.2 : Baisse du rendement relatif selon le niveau de tolérance des plantes au sel.....	31

Partie expérimentale

Figure I.1 : représentation schématique du dispositif expérimentale adopté.....	39
Figure I.2 : Le dispositif expérimentale adopté dans la serre.....	41
Figure I.3 : Effet de la salinité sur les deux variétés de luzerne testées : Speed et Siriver après deux semaines de stress.....	42
Figure I.4 : Effet de la salinité sur la partie aérienne et racinaire des deux variétés testées après trois semaines de stress.....	43
Figure I.5 : Mesure du poids frais de la partie aérienne et racinaire.....	43
Figure I.6 : Mesure de la longueur des parties aérienne et racinaire.....	44
Figure I.7 : Dosage de la proline.....	45
Figure I.8 : Dosage des sucres totaux.....	45
Figure I.9 : Mesure de la conductivité électrique des solutions salées.....	45
Figure II.1 : effet de la salinité sur la longueur de la partie aérienne.....	48
Figure II.2 : effet de la salinité sur la longueur de la partie racinaire.....	50

Figure II.3 : effet de la salinité sur le nombre de feuilles.....	51
Figure II.4 : effet de la salinité sur le poids frais de la partie aérienne.....	53
Figure II.5 : effet de la salinité sur le poids de la partie racinaire.....	54
Figure II.6 : effet de la salinité sur la teneur en proline.....	56
Figure II.7 : effet de la salinité sur la teneur en sucres totaux.....	58

Liste des tableaux.

Partie bibliographique

Tableau I.1 : Exportations en Kg / ha pour une production de 1t / ha de MS	13
Tableau II.1 : Classes des sols affectés par les sels	19
Tableau II.2 : Superficie affectée par la salinité dans le monde	21
Tableau II.3 : les superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'Ouest du pays	22
Tableau III.1 : classification de quelques espèces en fonction de leurs tolérances à la salinité	34

Partie expérimentale

Tableau I.1 : Composition des solutions salines et la conductivité correspondante.....	38
Tableau II.1 : : Analyse de la variance de la longueur de la partie aérienne.....	47
Tableau II.2 : Analyse de la variance de la longueur de la partie racinaire.....	49
Tableau II.3 : Analyse de la variance pour le nombre de feuilles.....	51
Tableau II.4 : Analyse de la variance du poids frais de la partie aérienne.....	52
Tableau II.5 : Analyse de la variance du poids frais de la partie racinaire.....	54
Tableau II.6 : Analyse de la variance pour le teneur en proline.....	55
Tableau II.7 : Analyse de la variance pour la teneur en sucres totaux.....	57

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 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 (Boualia 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 la salinisation des sols.

En Algérie, 3.2 millions d'hectares de terres agricoles sont menacés par la salinité (Belkhdja et Bidai, 2004). Les facteurs qui contribuent à l'extension du phénomène de salinisation des sols sont liés à l'aridité du climat, à la qualité des eaux d'irrigation et aux systèmes de drainage souvent inexistantes ou inopérants (Daoud et Halitim, 1994 ; Djili et *al.*, 2003 ; Saidi, 2004).

La salinité est un stress abiotique important et un facteur limitant la croissance et la productivité des plantes (khan et Panada., 2008). Dans les régions semi-arides, la concentration en sel de la solution du sol peut atteindre 100mM en sels solubles ce qui inhibe la quasi-totalité des plantes cultivées (Greenway et Munns, 1980).

Les effets délétères de la salinité sur la croissance des plantes sont associés à la diminution du potentiel osmotique de la solution du sol (stress hydrique), au déséquilibre nutritionnel, et aux effets ioniques spécifiques (stress salin) ; ou une combinaison de tous ces facteurs (Ashraf, 1994) qui provoquent des perturbations multiples sur le métabolisme des plantes au niveau moléculaire, biochimique et physiologique (Tester et Davenport, 2003; Yamaguchi et Blumwald, 2005).

En réponse au stress salin, les plantes développent une grande variété de mécanismes pour détecter, répondre et s'adapter à un large éventail de changements environnementaux. La survie et la croissance des légumineuses en condition de contrainte hydrique ou saline sont liées à des processus adaptatifs liés au transport et à la compartimentation des ions, à la biosynthèse et à l'accumulation d'osmolytes organiques qui participent à l'ajustement osmotique et à des accumulations protéiques nécessaires au maintien de l'intégrité cellulaire (Hamoud, 2012).

Les légumineuses fourragères occupent une place très singulière dans les systèmes de production agricole en raison de leurs particularités biologiques. En effet, par leur fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, elles ont de longues dates, contribuant à la durabilité des systèmes de production ou elles figuraient parmi les meilleures têtes de rotation. Par la

richesse en protéine, elles contribuaient à la qualité des ratios et des diètes, à la fois pour les animaux de rente, mais aussi pour les populations humaines (Huyghe *et al*, 2005).

La luzerne (*Medicago sativa* L.) est l'une des légumineuses fourragères les plus répandues dans tous les continents et les plus nutritives. Elle est riche en protéines, en minéraux et en vitamines. La luzerne peut supporter des sècheresses importantes. Elle est capable de s'adapter à des conditions climatiques très différentes. (Tidjani et Tounsi, 2005). Elle constitue la principale culture fourragère de l'oasis algérienne. Il s'agit d'une culture très bien adaptée au climat saharien et qui est très productive puisqu'elle peut produire, dans des bonnes conditions, jusqu'à 100 tonnes de vert par hectare (Janati,1990)

La luzerne est une culture d'importance économique, elle est influencée par l'augmentation de la salinité, pour cela la tolérance à la salinité chez la luzerne fait l'objet de plusieurs études dans le but de comprendre les mécanismes impliqués lors du stress salin en étudiant le comportement physiologique biochimique et génétique à l'échelle de la cellule ou à la plante entière. Cette compréhension est une condition préalable à l'élaboration de programmes de sélection d'espèce et de variétés tolérante au stress.

Nous envisageons dans la présente démarche d'approcher l'influence du stress salin sur le comportement éco-physiologiques de deux population de luzerne cultivée (*Medicago sativa*.L) « Siriver » et « Speed »:

Le présent document est divisé en trois parties

- la première partie, qui comporte une revue bibliographique.
- la seconde est consacrée à la méthodologie adoptée pour réaliser ce travail.
- la troisième partie présente les résultats et discussion.

Nous terminons, enfin par une conclusion.

PARTIE 01
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : LES LÉGUMINEUSES FOURRAGÈRES

I.1. Généralité sur les légumineuses fourragères

Un fourrage est, dans le domaine de l'agriculture, une plante ou un mélange de plantes utilisées pour l'alimentation des animaux d'élevage.

Il s'agit en premier lieu des parties herbacées des plantes (feuilles, tige), mais aussi de racines, de parties de plantes ou plus ou moins séchées. Certaines parties de plantes sont utilisées comme fourrages après transformation comme la pulpe de la betterave à sucre ou les tourteaux des différentes espèces oléifères... Les espèces fourragères cultivées, très nombreuses ont été repérées dans les milieux naturels parce qu'elles étaient bien consommées par les bétails, puis elles ont été sélectionnées génétiquement sur les différents caractères. Elles appartiennent principalement à deux familles botaniques : les graminées (ou Poaceae) et les légumineuses (Fabacées) herbacées et ligneuses. (Klein et *al.*, 2014).

Les légumineuses fourragères sont des espèces ou variétés de plantes appartenant à la famille des Fabaceae (Légumineuse) utilisées dans l'alimentation des animaux d'élevage.

Les légumineuses fourragères sont relativement nombreuses, environ 1500 espèces (sur un total de 19500 espèces rattachées à la famille des légumineuses), mais 60 espèces environ ont été sélectionnées et sont largement cultivées pour la production de fourrages, (Alexandra ,2018). Les taxonomistes ont divisé les légumineuses en trois familles , Parmi ces familles:

Fabaceae représentent la sous-famille la plus diverse avec 429 genres et environ 12000 espèces et qui regroupent les espèces cultivées les plus importantes économiquement. Trois groupes majeurs sont présents au sein de cette sous-famille : les Phaseolides, par exemple : le Soja (*Glycine max*), le Haricot (*Phaseolus vulgaris*), et parmi les Galegoïdes: la Fève (*vicia faba l*), le Pois (*Pisum sativum*), la Luzerne (*Medicago sativa*) et le Pois chiche (*Cicer arietinum*). Enfin, le groupe des Aeschynomeneae: comme l'Arachide (*Arachis hypogaea*) (Young et *al.*, 2003).

I.2.Importance économique des légumineuses fourragères

I.2.1. Dans le monde

Les légumineuses alimentaires constituent une composante essentielle pour la nutrition humaine et animale, elles représentent une famille ayant une grande importance économique (Rochester et *al.*, 2001). Elles occupent le second rang après les céréales comme culture alimentaire dans le monde. Les légumineuses sont très riches en protéines de qualité, et en association avec les céréales, elles forment la base de l'alimentation de milliards de personnes et une source importante de fourrage et de produits naturels (Allen., 1981).

I.2.2. En Algérie

Les espèces fourragères cultivées ne dépassent pas la dizaine d'espèces, alors que la flore renferme un immense potentiel d'espèces pouvant faire l'objet de culture ou d'introduction au niveau des jachères et/ou dans la réhabilitation des terres de parcours ou des zones dégradées. Les cultures fourragères prennent de plus en plus d'importance ces dernières années. Cela est dû à la résorption progressive de la jachère (Anonyme, 2015).

I.3. Espèce étudiée : La luzerne (*Medicago sativa*)

I.3.1. Présentation de l'espèce

I.3.1.1. Origine de la luzerne

La luzerne (*Medicago sativa* L.) est une des plantes fourragères les plus répandues sur tous les continents. Sa culture remonterait à plus de 9000 ans, dans les hauts plateaux du Caucase, l'Iran et la Turquie d'où elle se serait répandue dans le monde entier. On la cultive à peu près sous toutes les latitudes, depuis les régions équatoriales jusqu'aux abords du cercle arctique. Elle trouve cependant son plus grand développement dans les zones tempérées chaudes: Etats-Unis, Europe, Amérique du sud, Asie, Japon, Australie, Chine, Nouvelle-Zélande, Afrique et Argentine. Au total la luzerne représente dans le monde près de 32 millions d'hectares dont 14 millions en Amérique du nord où elle est le mieux représentée pour moins de 600 000 hectares en France .

Le nom américain donné à la luzerne alfalfa proviendrait de l'Arabe. On retrouve d'ailleurs l'appellation alfalfa en Espagnol et en Italien (Mauries,2003).

A partir d'études phylogénétiques de la luzerne et d'autres légumineuses et d'après Sinskaya (1950) et Michaud et *al* (1988), la luzerne aurait deux centres d'origines. Le premier est la région montagneuse transcaucasienne, au climat continental marqué, qui a donné naissance aux

luzernes modernes européennes. Le deuxième centre géographique d'origine cité par Sinskaya (1950) est l'Asie Centrale. La plus vieille référence connue indique que était utilisée comme fourrage il y a environ 3300 ans. Au cours d'excavations archéologiques dans une région de la Turquie, des tablettes de brique hittites (1400-1200 avant JC) indiquent que les animaux étaient nourris avec de la luzerne pendant tout l'hiver.

I.3.1.2. Anatomie de la luzerne

Il existe une très grande variabilité génétique dans la morphologie et l'anatomie des différentes populations de luzerne. La luzerne est une dicotylédone. A la levée vont d'abord émerger deux cotylédons. La première feuille est unifoliée, les feuilles suivantes sont composées de trois folioles rattachées à la tige par un pétiole. Elles sont dites trifoliées. Au cours de son développement la première tige grandit en produisant des feuilles alternées. Le bourgeon axillaire de la première feuille unifoliée se développe ensuite pour donner une tige secondaire. Deux autres tiges secondaires démarrent à sa suite depuis le niveau des cotylédons. Les luzernes de type non dormant produisent plus de tiges secondaires à partir du niveau des cotylédons que les types dormants dont la croissance est stoppée en hiver. C'est cet ensemble de tiges qui va former le collet (Maurice,2003).

Les jeunes plantes qui ne sont pas récoltées produisent également des tiges secondaires depuis les bourgeons axillaires des premières feuilles trifoliées. La luzerne développe dans le même temps une racine pivotante principale et des racines secondaires plus ou moins ramifiées. (Mauries,2003).

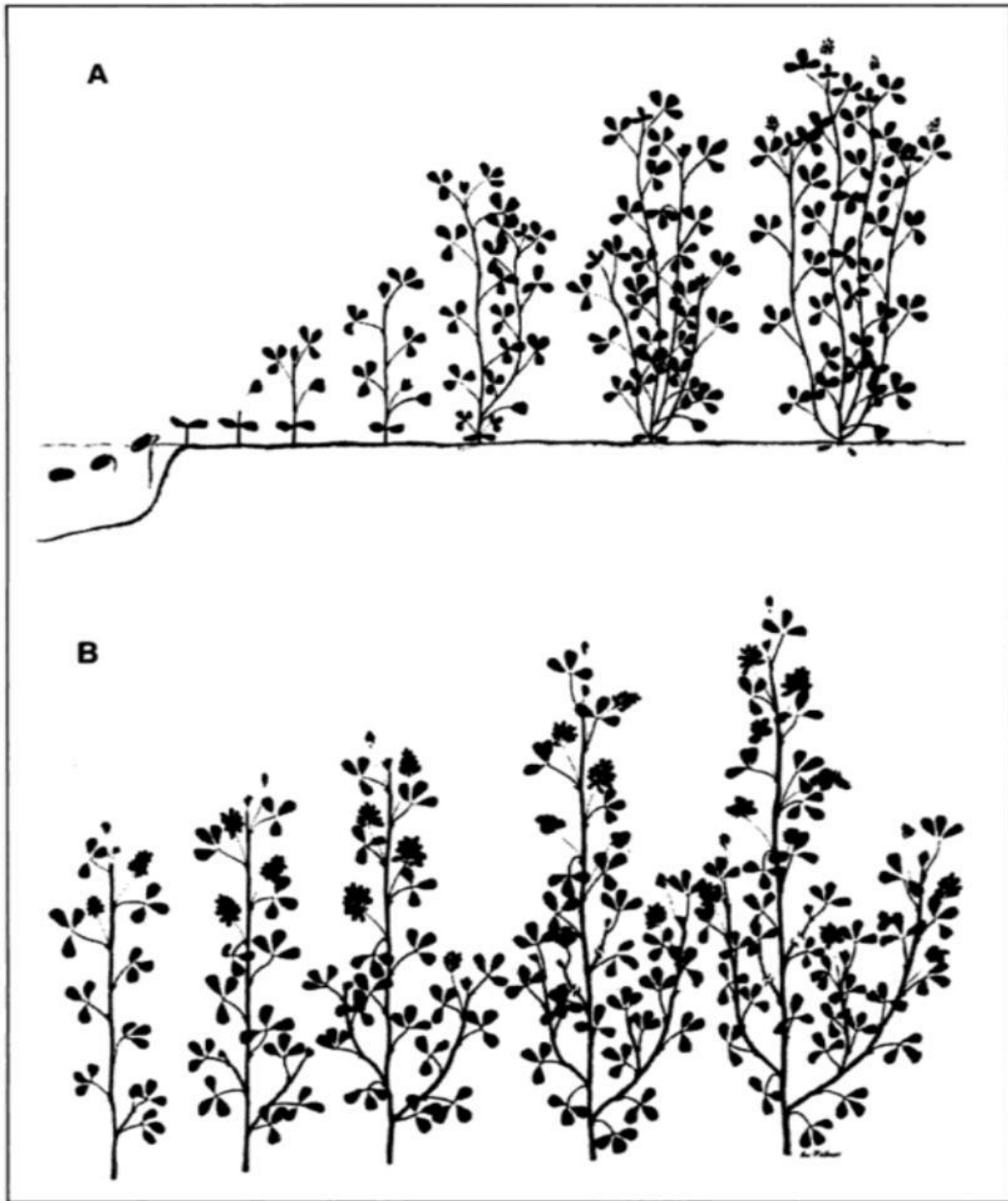


Figure (I.1): Développement d'une plante de luzerne (Mauries,2003).

I.3.1.3. Taxonomie et classification botanique

La luzerne appartient à la famille des légumineuses, caractérisées par leur capacité à fixer l'azote atmosphérique, grâce à une symbiose existant entre la plante et une bactérie qui se développe dans son système racinaire (Mauriès, 2003).

D'après Quezel et Santa (1962), l'espèce est classée comme suit :

- Domaine : Eukaryota
- Règne : Plantae (Lignée verte) :
- Sous règne : tracheobionta
- Division : Magnoliophyta ;
- Embranchement: Spermaphyta :
- Clade : Angiosperma;
- Clade : Eudicotidae,
- Clade : Eudicotylédones supérieures ou Rosinae
- Clade: Rosidae
- Clade : Fabidae ou Eurosidae
- Ordre: Fabales :
- Famille : Fabaceae (Légumineuses):
- Sous famille : Papilionaceae :
- Tribu.: Trifolieae
- Genre: Medicago ;
- Espèce: *Medicago sativa* L (1753)

I.3.1.4. Morphologie de la luzerne:

C'est une plante herbacée vivace à tige dressée dès la base puis rameuse et anguleuse. Sa hauteur varie de 30 à 90 cm(Messioughi,2016).



Figure I.2 : Morphologie de la luzerne (*Medicago sativa L*) . (Childers , 2008) .

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1: Fleur, | 2: Fleur épanouie, |
| 3: Fleur ouverte, | 4 et 5: un pétale, |
| 6: Une inflorescence en stade fructification. | 7: Une gousse, |
| 8: Une graine, | 9 coupe longitudinale d'une graine, |

- **Racine :**

La racine pivotante, en sol profond et bien drainé, descend habituellement à 2 m de profondeur. On voit nettement la partie supérieure de la racine de la luzerne, son fort pivot et les grosses racines secondaires. Ces racines portent des petites excroissances isolées ou en grappes, ce sont des nodosités ovoïdes ou d'aspect globuleux dont la taille ne dépasse pas 02 à 03 mm (INRA, 1965 et GHEDIRI, 2007).

- **Tige :**

Les tiges sont plus ou moins dressées, elles portent des feuilles nombreuses, portant à leur extrémité un mucron. Les luzernes de type non dormant produisent plus de tiges secondaires à partir du niveau des cotylédons que les types dormants dont la croissance est stoppée en hiver (Mauriès, 1994).

- **Feuille**

La première feuille est unifoliée. Les feuilles suivantes alternes, sont composées de trois folioles égales, glabres, obtuses, un peu échancrées et denticulées (MESSIOUGH, 2016).

- **Fleur**

La luzerne est allogame. Les fleurs hermaphrodites, symétriques, sont longues (7 à 11 mm). Elles sont regroupées en inflorescences en grappe longues de 20 à 40 mm et de 15 à 30 fleurs (Camille, 1980) et à corolle bleu violacé, un pédicelle généralement plus court que le tube du calice et dont les gousses sont contournées en hélice à 1,5- 3,5 tours.

La couleur des fleurs sont très diversifiées. La plus fréquente chez les *M. sativa* est mauve-violet alors que les *M. falcata* ont des fleurs jaunes (Mauriès, 1994).

- **Fruit**

Le fruit est une gousse non épineuse, recourbée en spirale à 2 –3 tours de spires renfermant plusieurs grains réniformes, luisants, nombreux de couleur jaune- verdâtre, le poids de 1000 grains est d'environ deux grammes (Foury, 1954).

- **Graine**

La luzerne a des graines de petite taille (environ 500 000 graines/kg). (SICA, 1990).

I.3.1.5. Cycle de développement de la luzerne :

Selon CHAABENA (2001) , la germination intervient si la température et au minimum de 7 ° C l'optimum étant de 25 ° C .

La croissance des jeunes plantes est rapide entre 20 et 30 ° C . Cette température optimale diminue ensuite sur les plantes plus âgées et se situe autour de 15 à 25 ° C . En dessous de 10 ° C et au - delà de 35 ° C , la croissance est fortement ralentie (Mauriès , 1994).

Les étapes de développement de la luzerne ont résumés dans la figure I.3 :

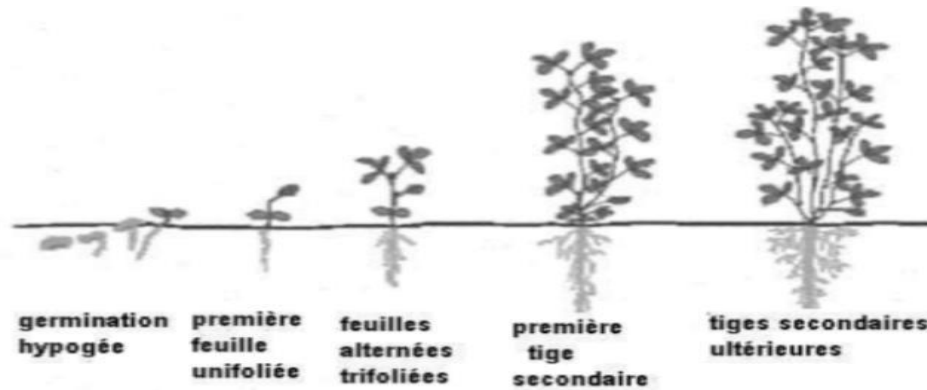


Figure I.3 : Cycle de développement de la luzerne pérenne (Prolea , 2002)

I.3.1.5.1. Cycle de vie

L'accroissement en matière sèche se poursuit jusqu'à la pleine floraison ; dès l'apparition des boutons floraux, l'élongation est très ralentie, parallèlement la proportion de la matière sèche s'accroît dans la plante entière mais la proportion des feuilles diminue (Moule, 1971).

- **Phase végétative**

Le cycle commence par la germination, les feuilles trifoliées apparaissent ensuite, une nouvelle tige se développe et les premières nodosités commencent à se former. Les années suivantes, la phase végétative débute dès la fin de l'hiver, celle-ci se marque par un début de croissance des bourgeons. La phase de croissance, de plus en plus active, se caractérise par l'élongation des entre-nœuds (Hnatyszyn et Guais ; 1988).

- **Phase reproductrice**

Ce stade correspond à la différenciation des organes reproducteurs : l'apparition des boutons floraux à l'extrémité des tiges marque le début de la phase reproductrice. La floraison commence à l'ouverture des premières fleurs. Après une première coupe une nouvelle floraison intervient cinq à six semaines plus tard (Hnatyszyn et Guais ; 1988).

I.3.2. L'importance de la luzerne

I.3.2.1. Dans le monde

Au total la luzerne représente dans le monde près de 32 millions d'hectares dont 14 millions en Amérique du nord où elle est le mieux représentée pour moins de 600000 hectares en France (Mauriès, 2003).

I.3.2.2. En Algérie

La luzerne occupe une superficie très réduite au niveau des cultures fourragères en Algérie. Par contre dans les régions sahariennes, elle constitue la première culture fourragère et occupe la place la plus importante. Cette espèce est très utilisée dans l'alimentation du cheptel du Sahara. Le comportement qualitatif des populations locales et des variétés introduites met en évidence l'intérêt de certaines populations locales pour certains caractères. (Chaabena et Abdelguerfi ,2007).

En Algérie, pour la période 1995 à 1997, la superficie consacrée à la luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.) représente entre 0,37 et 0,71% de la superficie réservée aux cultures fourragères ; par rapport aux cultures herbacées sa superficie représente entre 1,86 et 3,03% pour la même période. Dans le Sahara algérien, paradoxalement, la luzerne constitue le premier fourrage. Afin de mieux préciser la place de la luzerne dans la zone saharienne, une analyse des superficies réservées à cette culture a été menée. Parallèlement, un essai de comportement sur plusieurs populations locales et variétés introduites a été réalisé dans la région de Ourgla (Chaabena, 2001).

I.3.3. Exigences de la culture de la luzerne

I.3.3.1. Exigences climatiques

- **La température**

Les températures optimales de croissance pour la luzerne se situent à un palier élevé de 20 à 30°C (Hnatyszyn et Guais, 1988).

La température maximale autorisant la croissance est de l'ordre de 37°C, où la luzerne accuse un net fléchissement de production pendant les mois d'été en Afrique du Nord.

La température minimale au dessous de laquelle la plante suspend son activité définit une autre Ce zéro de végétation est de l'ordre de 8 à 9°C (Lapeyronie, 1982).

- **La lumière :**

Le photopériodisme intervient non seulement comme facteur d'orientation, mais modifie la morphologie et la production de la matière sèche ; des durées d'éclairement croissantes provoquent un allongement des feuilles au détriment de leur largeur (Hnatyszyn et Guais, 1988).

La photopériode constitue l'élément principal indicatif de la mise en fleur ; elle varie en fonction de la variété (Villax et Pfitzmeiyer, 1963).

I.3.3.2. Exigences hydriques :

L'eau constitue le facteur climatique principal pour la luzerne (Birouk et *al.*, 1997). Les besoins en eau des légumineuses sont importants, Il faut 600 kg d'eau à une luzerne pour élaborer 1 kg de matière sèche (Hnatyszyn et Guais, 1988). Pour une production optimale, il lui faut une quantité d'eau comprise entre 12 000 et 13 000 m³ à l'hectare, soit 1 200 à 1 300 mm d'eau par année de culture, En cas de disponibilité en eau et en l'absence de facteurs limitants, la luzerne reste la première culture fourragère de printemps-été à envisager (Birouk et *al.*, 1997).

Cependant, la puissance de son système racinaire lui permet de résister à une sécheresse de 2 à 3 mois. La luzerne est considérée comme une espèce adaptée à la sécheresse iniquement parce qu'en sol profond son enracinement lui permet d'avoir une réserve utile en eau du sol de grande capacité. Cependant, lorsqu'elle a une restriction de son alimentation en eau, ce qui contribué à diminuer sa production dans des proportions plus ou moins importantes (Robelin, 1969, Christian, 1977 in Lemaire, 2006).

I.3.3.3. Exigences édaphiques :

La luzerne exige des sols profonds et bien drainés. Les sols à croûtes ou engorgés d'eau sont à éviter. Sa culture réussit bien dans des sols neutres à alcalins avec un pH compris entre 6,5 et 8. Quant à la salinité, la luzerne présente, selon les variétés, des différences de tolérance (Birouk et *al.*, 1997). Pour les sols légèrement acides, les amendements calciques constituent une précaution d'usage et l'inoculation est envisageable (Hnatyszyn et Guais, 1988).

Un labour de 20 à 30 cm est indispensable pour permettre un bon enracinement. Les façons superficielles doivent permettre un émiettement suffisant de la terre; cependant, en sol battant il faut éviter l'ameublissement excessif (risque de formation d'une croûte de battance) (Abdelguerfi et Laouar, 2002).

I.3.3.4. Exigences en éléments minéraux :

Pour obtenir un bon rendement d'une culture de luzerne, il faut lui apporter les éléments nutritifs dont elle a besoin. Un haut niveau de fertilisation est indispensable au maintien d'une production élevée de 2 à 5 ans. La luzerne peut appauvrir le sol en potasse (Tableau 1). Car elle en exporte de 800 à 1 000 kg/ha en quatre ans (ITCF, 1999), elle est exigeante en soufre (40Kg / ha pour 10t de MS) , en bore et en molybdène (INRA , 1987) .

Tableau I.1: Exportations en Kg / ha pour une production de 1t / ha de MS (ITCF., 1999)

Eléments	Exportation (kg)
Azote(N)	25-30
Acide phosphorique	5-8
Magnésium(Mg)	4-5
Potasse(K ₂ O)	20-25
Calcium(CaO)	24-35

I.4. Importance de la culture de la luzerne :

Parmi les légumineuses, la luzerne a vraiment bien mérité l'appellation de « reine des cultures fourragères », sauf là où les conditions édaphiques particulières donnent priorité d'autres, telles que le trèfle violet dans les sols acides, le sulla dans les sols argileux (Bonciarelli, 1992).

La luzerne (*Medicago sativa* L.) est cultivée sur plus de 33 millions d'hectares, c'est la première légumineuse fourragère utilisée dans le monde. La plus importante surface cultivée se trouve aux Etats- Unis d'Amérique (environ 1/3 de la superficie totale), suivis par l'Argentine et la Russie (Birouk et *al.*, 1997).

I.4.1. Importance agronomique :

Elle est semée en culture pure ou en association avec une graminée pérenne.

Le semis s'effectue en avril-mai pour une première coupe à la première floraison (juillet) et une deuxième coupe à la deuxième floraison (début septembre) dans les zones pluvieuses.

Une luzernière peut fournir 3 à 6 coupes par an. La fenaison s'effectue au stade floraison, puis environ toutes les 5 semaines. L'ensilage est difficile. Son pâturage est limité car elle risque

de provoquer des accidents digestifs graves par accumulation. dans la panse des ruminants, de gaz de fermentation qui ne peuvent être éructés lors de la rumination (météorisation). Elle est sensible au piétinement.

Une luzernière peut être maintenue 7 ans en pleine production.

La luzerne laisserait dans le sol 6 à 8 tonnes de racines sèches par hectare ce qui correspond à 10 tonnes de fumier par hectare (Villax. 1963).

Elle est :

- Une source d'azote pour d'autres cultures d'assolement :
- Une culture propre, améliorant les sols; par sa durée d'occupation.

Elle assure :

- Une mobilisation des nutriments des réserves profondes du sol grâce à son puissant système racinaire ;
- Un haut potentiel de production de qualité ;
- Une souplesse d'exploitation (fauche, foin, pâturage, déshydratation et ensilage) (Birouk et *al.*, 1997):
- Une masse importante de matière organique ainsi que des résidus azotés dans le sol après défrichage, grâce aux nodosités des racines (Soltner, 1999).
- Une source complète d'éléments nutritifs pour la production de viande et de lait ;
- Un aliment de haute qualité pour les chevaux (Marble, 1993).

I.4.2. Importance écologique

La fonction écologique de la luzerne se manifeste sur la conservation du sol et de sa fertilité, sur le contrôle de la pollution par les nitrates, sur la durabilité des systèmes fourragers qui la comprennent et sur la limitation des intrants chimiques et de labour grâce à sa pérennité.

La luzerne est surtout vulnérable à la concurrence des mauvaises herbes durant l'installation (Birouk et *al* : 1997). Les mauvaises herbes peuvent concurrencer la luzerne de façon plus ou moins sévère, non seulement au moment de l'établissement lui-même, mais aussi après chaque coupe quand la couverture du sol par la culture est au minimum, il y a concurrence précoce pour la lumière, mais aussi concurrence pour l'eau et un degré moindre pour les éléments nutritifs en plus des effets toxiques des excréments radiculaires de certaines herbes (Labonne 1976).

I.4.3. Importance socioéconomique :

Elle est essentiellement due à sa grande productivité de qualité et surtout à la multiplicité d'usages qu'elle peut permettre :

- Comme couverture de protection des sols, pâture, fourrage vert, foin, ensilage, déshydratation (bouchons de luzerne).
- Production de fibres pour l'industrie de la papeterie (Talamucci, 1994).
- Et même pour son utilisation médicinale, grâce à sa composition minérale, en vitamines, acides aminés, enzymes et autres composés (Alonso, 2004).

CHAPITER II : LA SALINITE

II.1. Généralités sur la salinité

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

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

La formation d'un sol salin résulte généralement de l'accumulation de sels dans les horizons de surface (Levy, 2000 ; Brady Et Weil , 2002 ; Essington , 2004) . Ce processus dépend essentiellement du régime hydrique du sol et des sources de sel . Lorsque le climat est chaud et sec , entraînés par les eaux capillaires suivant le flux d'évaporation , les sels sont accumulés en surface . Les sels les plus communs présents dans la solution du sol correspondent aux cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , et aux anions Cl , SO_4 , CO_3 , NO_3 . D'autres sels moins courants et plus toxiques à faibles concentrations sont également à considérer. Ces éléments traces sont le bore, le sélénium, l'arsenic et le molybdène (Essington 2004 ; Gregory , 2005) .

Les sels peuvent avoir deux origines :

I) une origine primaire qui dérive de l'altération de la roche mère, les sels résultants de cette altération sont entraînés dans les canaux capillaires en surface, cette action est accentuée beaucoup plus par l'aridité du milieu (Antipolis , 2003) .

II) une origine secondaire liée étroitement à l'activité humaine dont les sels proviennent soit des eaux d'irrigation en présence d'un mauvais drainage ou de l'utilisation abusive des engrais chimiques ainsi que des apports alluviaux (Mashali et al . , 2005) .

Généralement la salinité d'un sol est mesurée par la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée à 25 ° C (Kenfaoui , 1997) en effet un sol est considéré salé quand sa conductivité électrique devient supérieure à 4millimhos.cm (Halitim , 1986) .

II.2. Définition de sols salés (sols halomorphes)

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

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles, ou par la richesse de leur complexe absorbant en ions, provenant de ces sels et susceptibles de dégrader leurs caractéristiques et propriétés physiques, en particulier leur structure . On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse 0,5g / l (Robert, 1996) . Selon Calvet (2003) , un sol est dit salé quand la conductivité électrique est supérieure à 4ds / m . Génétiquement, les sols sont constitués par deux unités très différentes, les salisols , dans lesquels les sels sont formés de sodium , de calcium ou de magnésium sous la forme de sels solubles simples ou complexes . Les sodisols à complexe sodique dans lesquels les cations, essentiellement le sodium sont sous la forme échangeable , les sels solubles étant très peu abondants (Bouteyre et . Loyer , 1992) .

II.2.2. Caractères Généraux

L'origine des sels responsables de cette salinité est diverse marine actuelle ou ancienne , pétrographique due aux ions libérés par l'altération de certaines roches sédimentaire , volcanique , hydrothermale , éolienne apportée par des embruns ; elle est aussi très souvent anthropique induite par la mise en valeur hydroagricole et autres aménagements (eaux d'irrigation , remontées de nappes phréatiques , engrais , solutions nutritives des serres et des cultures hors sol , effluents urbains , etc.) .

Selon les estimations , ces sols Salic représenteraient sur la planète une superficie de l'ordre de 260 millions (Dudal , 1990) à 340 millions d'hectares (Szabolcs , 1989) , en fonction de l'intensité du phénomène pris en compte . Très répartis dans les régions arides à semi arides , ils couvrent de grandes surfaces surtout en URSS , Australie , Amérique du Sud , Chine et Moyen - Orient .

La présence de ces sels et l'élévation de la pression osmotique de la solution du sol , ou une toxicité ionique spécifique , entraînent la formation de paysages particuliers , soit occupés par une végétation naturelle spécialisée dite halophyte , soit présentant une absence totale de végétation (

chotts , sebkhas , lagunas , salares , sansouires , tannes vifs , etc.) , selon le degré de salinité atteint . L'utilisation agricole de ces sols est délicate .

En régime pluvial , seuls ceux des régions suffisamment humides sont cultivables , parfois après une phase de dessalement naturelle (riz , orge , etc.) , et aussi plantables en espèces fourragères ou forestières tolérantes . Partout ailleurs notamment en région sèches , on doit recourir à leur mise en valeur irriguée qui , sous ces conditions climatiques , nécessite des précautions particulières de gestion et surtout un lessivage et un drainage appropriés pour éliminer l'excès de sels (Valles , 1985) et contrôler les remontées de nappe .

On a parfois recours à l'emploi d'amendements minéraux ou organiques ou d'eaux rééquilibrées, et même à des solutions salines qui , améliorant l'agrégation des sols , facilitent le lessivage des sels . Par ailleurs , il existe un risque de développer à partir de ces pratiques hydroagricoles , sur des sols initialement sains , une dégradation saline secondaire induite , même par l'utilisation d'eaux d'assez bonne qualité , mais sans drainage efficace (Aubert , 1985 ; Loyer , 1989) .

Au niveau des plantes cultivées , l'objectif est de sélectionner des variétés tolérantes pour maintenir la meilleure production possible , en repoussant le seuil de mortalité des espèces , et aussi d'intervenir au cours du cycle cultural , soit par utilisation successive d'eaux de plus ou moins bonne qualité , parfois recyclées (l'utilisation d'eaux salines en début de cycle pouvant même , en agissant sur la vigueur du plant de certaines cultures maraîchères , prolonger leur production (Inra , 1987) , soit encore par utilisation d'eaux apportées en mélange ou en alternance selon la sensibilité des cultures (Rhoades , 1977) . Ces problèmes , liés à la conservation , à la dégradation chimique et à la régénération des sols affectés , sont aujourd'hui d'une importance primordiale dans les terres irriguées , en raison de l'ampleur des interventions humaines en cours de développement , qui approcheraient 500 millions d'hectares irrigués sur la planète en l'an 2000 (Kan War , 1982) .

II.2.3. Classification des sols salés

La salinité du sol est décrite et caractérisée en termes de concentration et de type de sels solubles . Elle est reliée à la conductivité électrique du sol mesurée en déci siemens par mètre (dS.m - 1) . Selon USSL (1954) , les sols affectés par les sels sont classés en fonction de la conductivité électrique de leur extrait de pâte saturée (CE dS.m¹) , du pourcentage de sodium échangeable (ESP en %) et de leur pH (tableau II.1) .

Tableau II.1. Classes des sols affectés par les sels (USSL , 1954)

Classes	CE (dS.m - 1)	ESP (%)	Ph
Non salin	<4	<15	<8.5
Salin	>4	<15	<8.5
Sodique	<4	>15	>8.5
Salin-sodique	>4	>15	>8.5

Avec :

CE = conductivité électrique (CE) de l'extrait de pâte saturée

pH = pH de l'extrait de pâte saturée

ESP = pourcentage de sodium échangeable

II.2.3.1. Sols salés

On distingue deux grands groupes :

a) Les sols à complexe calcique dominant (solontchaks) : le Cat (sous des formes diverses : bicarbonates , carbonates , nitrates) existe en proportion importante par rapport à NaCl . Vu l'adsorption préférentielle de Cat sur Na + , l'ion Na minoritaire et bloqué dans le complexe absorbant . L'ion Na est représenté à raison de moins de 15 % dans la capacité d'échange . La structure est bonne et ces sols sont alors stables .

b) Les sols à complexe sodique dominant présentent la tendance inverse .

Il faut toutefois faire une distinction suivant leur origine :

II.2.3.2. Les sols à alcali non salés

proviennent d'une roche éruptive riche en minéraux sodiques , en climat sec où l'élimination de Na * est insuffisante par lessivage . Dans ce cas , la saturation en Na du complexe

absorbant est plus de 15 % . Il y a hydrolyse en période pluvieuse d'où l'augmentation du pH et la destruction de la structure du sol .

II.2.3.3. Les sols à alcali salés

Sont des sols à nappe salée avec une faible proportion de Ca ++. Le Ca bloque Na aussi longtemps que la nappe salée reste proche de la surface. Dans ce cas, les argiles s'hydrolysent peu, le pH ne monte pas plus que 8-8,5 et la dégradation de la structure n'est que partielle.

II.3. Les sols salés dans le monde et en Algérie

II.3.1. Sols salés dans le monde

A l'échelle mondiale, les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent une grande ampleur pour l'agriculture. Leurs distributions géographiques se superposent presque entièrement à celle des zones arides et semi arides et des zones côtières (Durand , 1983 ; FAO , 2005) .

La surface affectée par la salinité dans le monde est évaluée à 954,8 millions d'hectares (Tableau II.2), soit 23 % des terres cultivées (FAO, 2008). Wri (2002), propose un classement des zones arides basé sur les valeurs du rapport ratio précipitation annuelle / évapotranspiration potentielle moyenne annuelle (Figure II.1) , le monde est de ce fait , divisé en :

-Zone hyper aride couvrant environs 11 millions de Kilomètres carrés , soit 8 % des terres totales et elle correspond principalement au désert du Sahara .

-Zones arides , semi - arides et subhumides sèches qui couvrent près de 54 millions de kilomètres carrés principalement concentrés en Asie et Afrique .

Tableau II.2: Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO , 2008)

Région	Superficie (millions d'ha).
Afrique	80.5
Europe	50.8
Amérique du Nord	15.7
Amérique du Sud	129.2
Australie	357.3
Mexique et Amérique centre	2
Asie du Sud Est	20
Asie du centre et du Nord	211.7
Asie du sud	87.6
Total	954.8

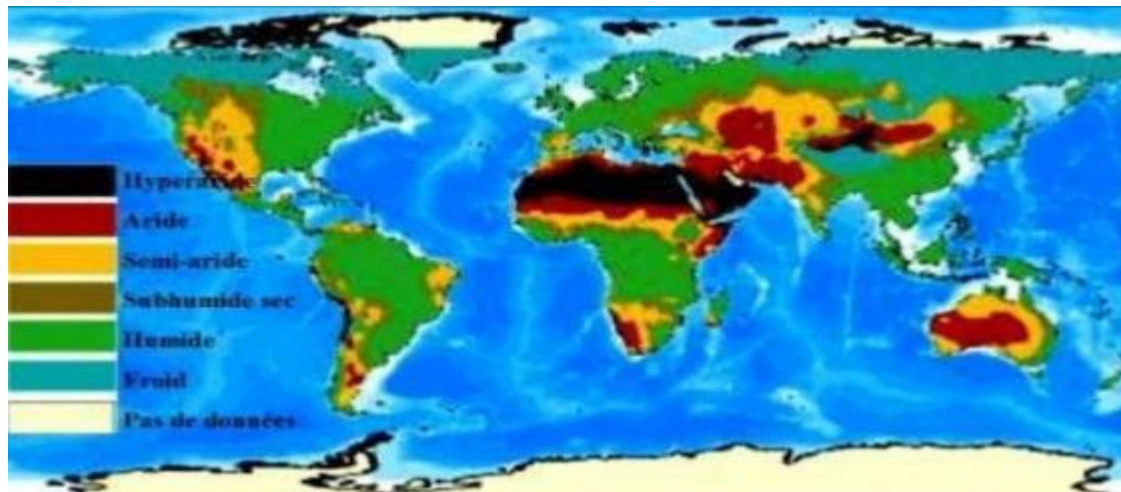


Figure II.1: Carte des zones arides dans monde (Wri , 2002).

II.3.2. En Algérie

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (Durand , 1983) . Les sols salins sont répandus dans les basses plaines de l'Oranie , dans la vallée de la Mina près de Relizane , sur les hautes plaines Sud de Sétif et de Constantine et aux bords de certains chotts comme le chott Melghir . Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt , Ouargla et au - delà (Durand , 1983) .

D'après Halitim (1988) , dans les régions arides , les sols représentent environ 25 % de la surface cartographiée . Soit 3,2 millions d'hectares (Hamdi , 1999) . Les sols situés au Sud sont nettement plus sodiques que ceux du Nord (Daoud , 1999) . D'après les études spécialisées réalisées par l'INSID pour le Bas Chélif (40 000 hectares et la Mina (sur près de 5 000 ha) en 1997 , près de 11 000 ha (soit 27 % de la surface étudiée) sont affectés par un degré de salinité de plus de 8 ds.m⁻¹ Dans le tableau suivant il est donné un aperçu sur les superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'ouest du pays .

Tableau II.3: les superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'Ouest du pays (ONID , 2003) .

Périmètres irrigués	Superficies irrigable (ha)	Superficies affectées/ha	Pourcentage %
Haut Cheliff	20200	6400	32
Moyen Cheliff	21800	8700	40
Bas Cheliff	22500	15000	67
Mina	9600	4190	44
Habra	19600	8100	41
Sig	8600	3200	37

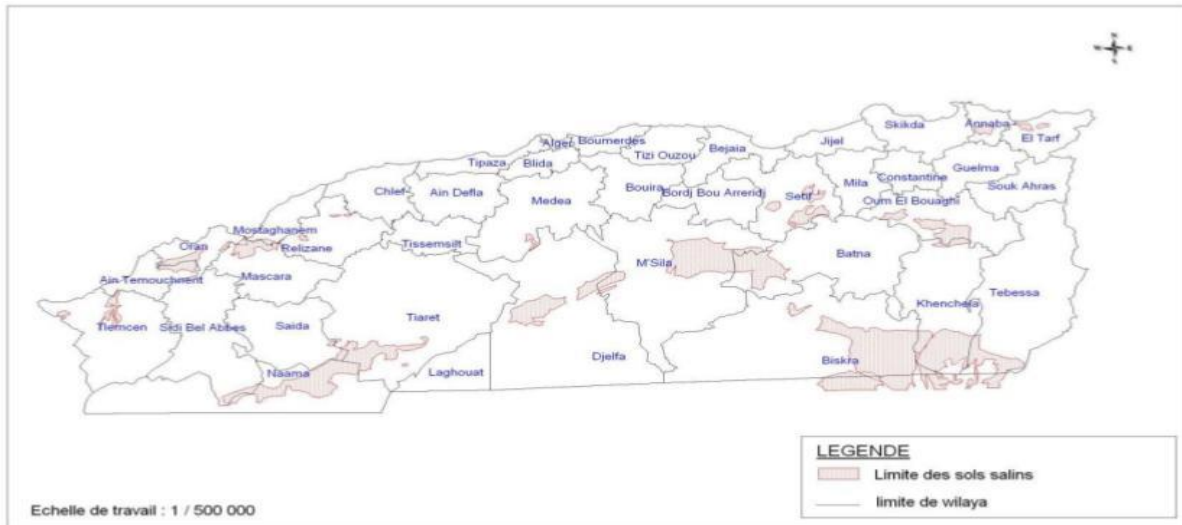


Figure II.2 : Répartition des sols salins du nord de l'Algérie

CHAPITRE III : NOTION D'ENSEMBLE SUR LE STRESS SALIN ET SON EFFET SUR LES PLANTES

III.1. Notion sur le stress salin

On peut considérer que la notion de stress d'une part, une déviation plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales (moyennes) de la plante et d'autre part, une réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie laquelle change sensiblement avec soit une adaptation à la nouvelle situation soit une dégradation menant à issue fatale (Leclerc, 1999).

Selon Mermoud, (2006), la salinité est le processus d'accumulation des sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol ; il s'en suit une diminution des rendements et à terme, une stérilisation du sol.

La concentration en sels dans l'environnement d'une plante varie énormément, elle peut être insuffisante ou excessive, bien qu'elle constitue pratiquement un stress induit par de faibles concentrations salines, une carence en ion se manifeste généralement sous forme d'un problème nutritionnel, en fait, le stress salin s'applique surtout à un excès d'ions, en particulière, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- (Hopkins, 2003).

Par ailleurs, Laredj-Zazou (2013), signale que la salinité du sol ou de l'eau est causée par la présence d'une quantité excessive du sel, 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) l'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol (Parida et Das, 2005).

III.2. Effets de la salinité sur les plantes

La salinité affecte presque tous les mécanismes physiologiques et biochimiques des plantes. De fortes concentrations de sel exogène affectent la germination des graines, provoquent un déficit physiologique en eau et un déséquilibre ionique des cellules ainsi qu'un stress osmotique (Munns, 2002).

La première conséquence de la salinisation tient à la modification du potentiel osmotique de la solution du sol, lorsque la teneur en sels croît. Selon Song *et al* (2005), plus la solution du sol est salée, plus la pression osmotique est élevée et plus il est difficile pour les racines d'extraire l'eau de la réserve du sol.

Sur les plantes, la salinité a deux actions bien distinctes qui peuvent se produire simultanément :

- 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)
- 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).

III.2.1. Effet de la salinité sur l'état hydrique de la plante

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

Lorsque l'ajustement osmotique est insuffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules, ce qui provoque un déficit hydrique et la perte de la turgescence. (Niu *et al.*, 1995 ; Bohnert et Shen, 1999 ; Hasegawa *et al.*, 2000)

III.2.2. Effet de la salinité sur l'équilibre ionique

Le déséquilibre ionique se produit dans les cellules suite à l'accumulation excessive des ions Na⁺, Cl⁻ et à la réduction de l'assimilation d'autres ions nécessaires à la plante.

L'accumulation des ions Na⁺, Cl⁻ à des seuils toxiques entraîne des modifications de la perméabilité membranaire, des inhibitions enzymatiques et de manière subséquente un dysfonctionnement métabolique général (Hopkins et Evrard, 2003). Il a également été montré que les fortes concentrations en NaCl peuvent inhiber le transport et l'absorption des ions notamment K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NO⁻³, PO⁻⁴ et SO²⁻₄ (Zid et Grigon, 1991 ; Levigneron *et al.*, 1995).

Dans la cellule les ions Na^+ entrent en compétition avec les ions Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmiques (Haouala et al, 2007). Les interactions entre les ions Ca^{2+} et les autres composants cellulaires tels que les pectines de la paroi et les phospholipides membranaires sont très sensibles à la présence des ions Na^+ . Une ration $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ élevé provoque donc un détachement des ions Ca^{2+} de leurs sites fixateurs affectant ainsi l'intégrité de la paroi cellulaire et celle de la membrane plasmique. (Manchanda et Garge , 2008).

La perte de l'intégrité membranaire, peut provoquer une fuite des ions K^+ du milieu intracellulaire, entraînant ainsi une réduction du ration K^+/Na^+ . Par ailleurs, il a été rapporté qu'en plus de son rôle dans l'ajustement osmotique, l'ions K^+ est un cofacteur essentiel pour l'activation de plus de 50 enzymes cytosoliques (Mahajan et Tuteja, 2005 ; Munns et al, 2006). La substitution de ce cation par le Na^+ sur les sites de fixation enzymatiques conduirait à l'altération de l'activité de ces enzymes (Zhu ,2007). Ceci perturbe l'activité métabolique des cellules, ce qui expliquerait en partie la réduction de la croissance et de la vigueur des plantes en condition de stress salin (Xiong et Zhu, 2002)

L'ion Cl^- devient toxique lorsqu'il est accumulé en excès au niveau du cytoplasme car il entraîne des déséquilibres de charges électriques (Teakle et Tyerman, 2010).

Le calcium diminue avec l'augmentation des doses de sel (Gramer, 1997), son addition au milieu de culture des plantes sous stress salin augmente le taux du Ca^{2+} et du K^+ au niveau foliaire par contre diminue l'accumulation de Na^+ (Grant et al., 1991 ; Erik et al.,2005).

III.2.3. Effet sur la germination et la levée

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 limité par la salinité du sol et se montre le plus sensible que les autres stades (Said et al, 2011).

La germination des plantes, qu'elles soient halophytes ou glycophytes, est affectée par la salinité en réduisant leur faculté et/ou leur énergie germinative (Bayuelo-Jiménez et al., 2002). Selon l'espèce, L'effet dépressif des sels peut être de nature osmotique ou toxique.

- Les effets osmotiques se traduisent par l'inaptitude des graines à absorber des quantités suffisantes en eau pour les ramener à leur seuil critique d'hydratation, nécessaire au déclenchement du processus de germination,

- Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (Rejili et *al.*, 2006).

Les halophytes contiennent une teneur très élevée en sel dans leurs tissus au stade adulte, mais leurs graines ne sont pas aussi tolérantes au stade germinatif, c'est pour cela que la germination est considérée comme une étape déterminante pour la réussite de la croissance des plantes dans les milieux salés (Choukr Allah et *al.*, 1997).

III.2.4. Effet sur la croissance et le développement

L'un des effets apparents provoqués par le stress salin est la réduction de la croissance. Ceci a été observée chez de nombreuses plantes à titre d'exemples, chez la tomate une forte concentration en sel induit une réduction significative du poids et de la hauteur des plantes, ainsi que le nombre de feuilles par plante (Mohammed et *al.*, 1998). De même, Ghoulam et *al.* (2002) ont rapporté qu'en présence de 200 mM de NaCl, la surface foliaire, les masses de matière fraîche et sèche des racines et des feuilles étaient significativement réduites chez les betteraves sucrières.

La croissance réduite est une capacité d'adaptation nécessaire pour que les plantes survivent sous un stress abiotique (Zhu, 2001). En effet, ce retard de développement permet à la plante l'accumulation de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'atteigne un seuil où les dommages sont irréversibles.

Le ralentissement de la croissance peut résulter de plusieurs facteurs, à savoir :

- la perte de turgescence des cellules, due au stress osmotique, induit par les solutés externes (Serrano et Gaxiola., 1994),
- l'utilisation des composés carbonés et azotés à des fins de protection et d'osmorégulation, aux dépens de leur implication dans la production de biomasse
- l'accumulation excessive d'électrolytes dans les tissus de la plante, entraînant un effet de toxicité (Grouzis et *al.*, 1976).

- le déséquilibre nutritionnel causé par l'absorption réduite des ions essentiels comme K^+ , Ca^{++} ou NO_3^- en liaison avec cette accumulation excessive (Grouzis *et al.*, 1976 ; Haouala *et al.*, 2007).

La réduction de la croissance est en rapport avec la réduction de la teneur relative en eau, la conductance stomatique, la transpiration et la réduction de la photosynthèse nette (Van der Moezel, *et al.*, 1989).

III.2.5. Effets de la salinité sur la photosynthèse

D'après Alem *et al.*, (2002) la salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale.

L'effet de salinité sur la photosynthèse se manifeste essentiellement par la diminution de la conductance stomatique est suivie par la réduction de l'assimilation du CO_2 et du taux de respiration comme indiqué pour différentes espèces et niveaux de Salinité (Ashraf, 2001 ; Romero-Aranda, *et al.*, 2001). Particulièrement chez les glycophytes, la présence continue de $NaCl$ dans le milieu de culture entraîne une augmentation d'une part de l'épaisseur des limbes (ce qui deviendrait un élément limitant dans la porosité stomatique) et d'autre part des vitesses d'ouverture des stomates. (Gama *et al.*, 2007).

Le stress salin cause des effets à long et à court terme sur la photosynthèse. Les effets à court terme se manifestent après quelques heures jusqu'à un à deux jours de l'exposition au stress, et la réponse est importante ; il y a complètement arrêt de l'assimilation du carbone et du processus photosynthétique. L'effet à long terme s'exprime après plusieurs jours de l'exposition au sel et la diminution de l'assimilation du carbone est due à l'accumulation du sel dans les feuilles en développement (Munn et Termatt, 1986) ; aussi on a rapporté qu'il y a arrêt de la photosynthèse sous des conditions sévères de stress salin (Kao *et al.*, 2001). Par contre, le stress faible à modéré semble plutôt stimuler ce phénomène (Kurban *et al.*, 1999).

La diminution du processus photosynthétique est due à plusieurs facteurs :

- La déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO_2 .
- La toxicité des ions formant le sel.
- La réduction de l'approvisionnement en CO_2 à cause de la fermeture hydro active des stomates.

- La sénescence accrue des feuilles induite par la salinité.
- Le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement de leur conformation dans la structure cytoplasmique. (Iyengar et Reddy, 1996).
- L'endommagement du processus photosynthétique (photosystème I et II) et des protéines transporteuses d'électrons (Sudhir et *al.*, 2005).
- La réduction des pigments photosynthétiques, chlorophylle 'a' et chlorophylle 'b' (Qados, 2011).

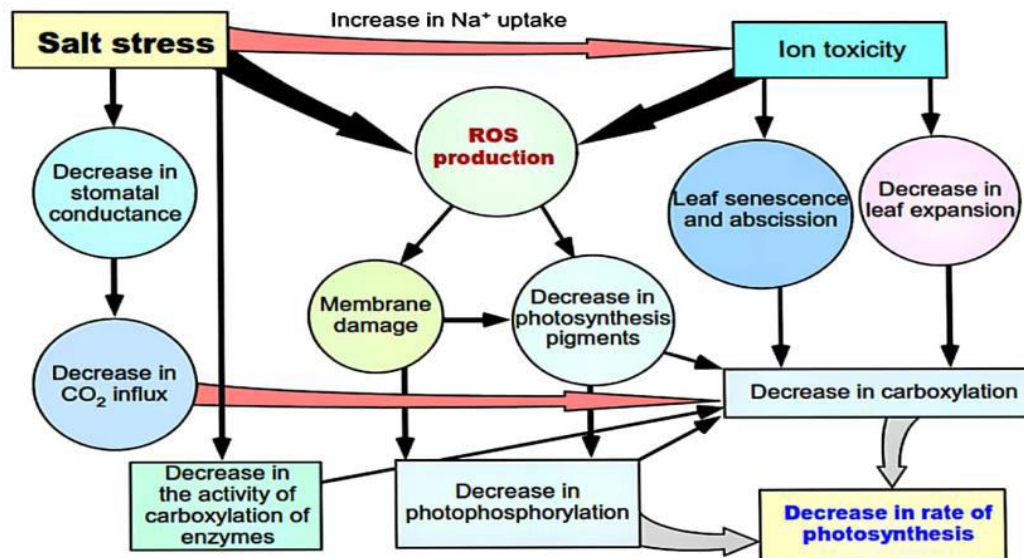


Figure III.1 : Effet du stress salin sur la photosynthèse (Hussain et *al.*, 2016).

III.2.6. Effet de la salinité sur la nodulation

Le stress salin réduit la nodulation des légumineuses en inhibant les événements symbiotiques. Les niveaux de salinité qui inhibent la symbiose entre les légumineuses et les *Rhizobium* sont différents de ceux qui inhibent la croissance des symbiotes individuels, ces derniers sont généralement plus tolérants à la salinité (Aydi et *al.*, 2004).

III.2.7. Effets de la salinité sur le métabolisme azoté

Chez les légumineuses, le métabolisme azoté et la synthèse protéique sont sévèrement affectés par le stress salin, limitant ainsi fortement la productivité et le développement normal

des plantes (Pessaraki et *al.*, 1989). Cette contrainte provoque aussi la diminution de l'activité de la nitrogénase et d'autres enzymes impliquées dans l'assimilation de l'azote (Boukhellout, 2009).

La réduction de NO_3^- en NO_2^- catalysée par la nitrate réductase NR est considérée comme étape clé dans l'assimilation d'azote (Debouba et *al.*, 2007).

La salinité peut affecter négativement l'expression et l'activation du NR et peut également influencer sa stabilité (Huber et Kaiser 1996 ; Debouba et *al.*, 2006).

L'activité de la nitrate réductase dans les feuilles diminue chez beaucoup de plantes sous stress salin (Meloni et *al.*, 2001). La cause primaire de la réduction de l'activité de NR dans les feuilles est la présence d'une concentration élevée de Cl^- et de Na^+ qui mène à une diminution de l'absorption du NO_3^- et en conséquence la diminution de la concentration en NO_3^- dans les feuilles (Silveira et *al.*, 2001). Ceci peut mener à de graves conséquences pour l'assimilation entière des nitrates par les plantes. La déclinaison de l'activité du nitrate réductase (ANR) et la baisse du niveau des nitrates dans les conditions de la salinité élevée peuvent être responsables d'une réduction de la croissance des plantes et de la production de biomasse sous stress salin (Debouba et *al.*, 2007).

L'activité du NADP et du ICDH (déshydrogénase d'isocitrate), qui est une enzyme cytosolique principale qui relie le métabolisme du carbone et d'azote en fournissant des squelettes de carbone pour l'assimilation primaire d'azote chez les plantes, augmente dans les feuilles et diminue dans les racines, alors que l'activité de la synthèse ferrédoxine dépend de la glutamate, qui est l'enzyme principale de l'assimilation d'azote et de la biosynthèse des acides aminés, diminue dans les feuilles en réponse à la salinité élevée (Popova et *al.*, 2002).

Dans la salinité des cultures, il a été rapporté une réduction de la minéralisation de l'azote à travers l'activité biologique du sol et une inhibition du transport des nitrates des racines vers les tiges. (Bouhaddi, 2009).

III.3. Classification des plantes en fonction de leurs tolérances à la salinité

Les signes les plus distincts des dommages dus à la salinité sont une mauvaise croissance des plantes et une baisse de leurs rendements.

Maas et Hoffman (1977), ont évalué les données disponibles concernant la tolérance des plantes au sel et ont considéré qu'il existe pour chaque culture un certain seuil au-delà duquel les rendements diminuent linéairement à mesure que la salinité augmente.

La figure III.2 : illustre le seuil de tolérance à la salinité de chaque classe des plantes et montre également dans quelle mesure approximative la croissance ou le rendement diminue quand la salinité de l'extrait de sol saturé (EC_e) augmente.

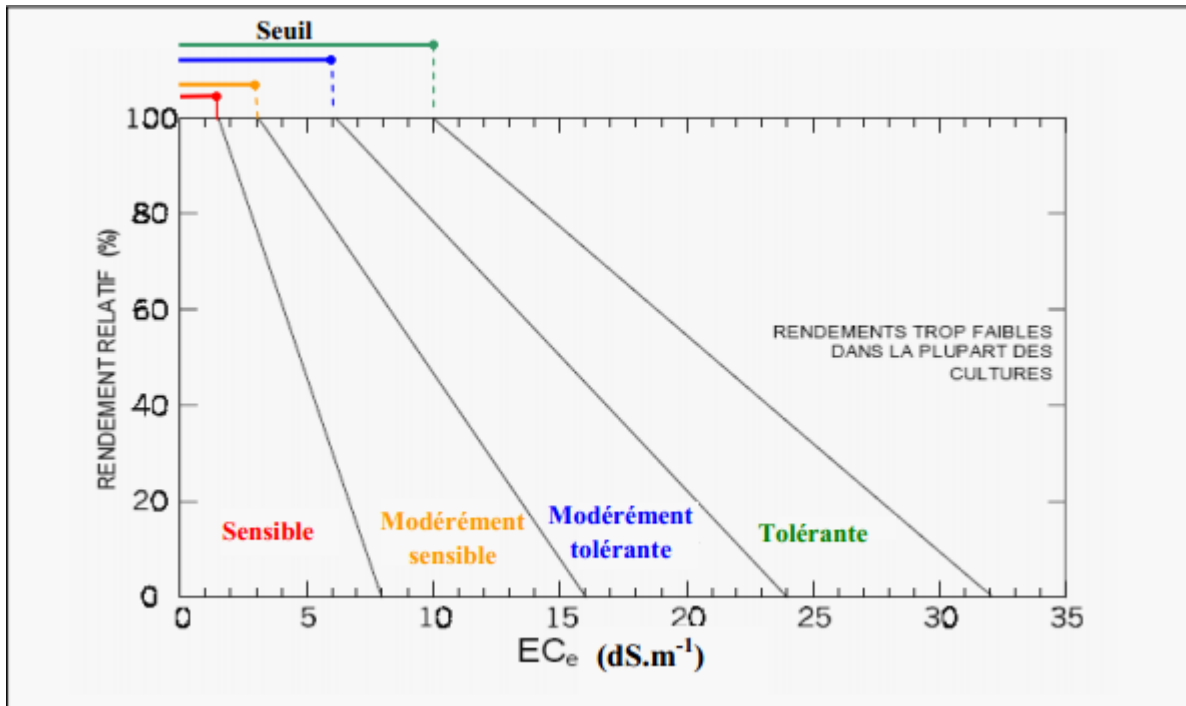


Figure III.2: Baisse du rendement relatif selon le niveau de tolérance des plantes au sel (Bischoff, 1999).

Tableau III.1 : fournit en outre, les niveaux de tolérance de quelques cultures choisies par plus de 90 espèces étudiées par les chercheurs de (US Salinity laboratory). Toutefois, il faut noter que les niveaux de tolérance au sel donnés pour les différentes cultures ne sont pas immuables et ne doivent être considérés qu'à titre indicatif, car il existe des facteurs qui influencent la réponse au sel des espèces végétales. En effet, la tolérance de la plante à la salinité dépend de l'espèce même, de sa variété, de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante (Maas, 1993 ; Blaylock, 1994).

Tableau III.1 : classification de quelques espèces en fonction de leurs tolérance à la salinité (d’après Maas, 1993).

Sensible	Modérément sensible	Modérément tolérante	Tolérante
Ail	Canna à sucre	Niébé	Avoine
Arachide	Epinard	Sorgho	Blé tendre
Carotte	Luzerne	Soja	Blé dur
Haricot commun	Laitue		Betterave à sucre
Oignon	Mais		Cotonnier
Riz	Niébé		Orge.
	Pois chiche		
	Pois		
	Tomate		

Les plantes sous stress salin emploient des mécanismes biochimiques et moléculaires pour surmonter le stress pour la croissance et le développement. On trouve les voies biochimiques dans certains processus qui produisent ensuite des composés qui améliorent la capacité de la tolérance au sel (Lyengar et Reddy, 1996).

III.4. Mécanismes de la tolérance des plantes à la salinité

III.4.1. Exclusion

L’exclusion des sels représente la capacité de la plante à limiter l’absorption des ions toxiques vers la tige (Munns, 2002). La présence de l’endoderme dans les racines, ainsi que le transport sélectif leur permet d’absorber les ions nutritifs utiles et de réexcréter les ions Na⁺ (Genoux et *al.*, 1991).

III.4.2. Inclusion

Les plantes de type inclusion appelées aussi inclusives utilisent le sel pour ajuster la pression osmotique de leurs cellules. Elles laissent donc monter le sel des parties aériennes mais il sera isolé des constituants cellulaires vitaux par son stockage dans les vacuoles.

Durant le processus de compartimentation intracellulaires, les ions Na⁺ entrent dans les cellules des feuilles probablement à travers des canaux cationiques peu sélectifs puis sont pompés

dans la vacuole avant que leurs concentrations n'atteignent des seuils toxiques dans le cytoplasme (Tester et Davenport, 2003 ; Munns, 2005).

III.4.3. Ré-excrétion

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

III.5. Mécanismes d'adaptation à la salinité

D'une manière générale, la tolérance à la contrainte saline peut être associée à des caractéristiques physiologiques essentielles :

III.5.1. Une utilisation efficace des ions dans le maintien de la turgescence

Les halophytes se caractérisent par une grande capacité d'absorption et d'accumulation préférentielle de chlore et de sodium dans les feuilles. Une conséquence de cette accumulation des ions est l'élévation de la pression osmotique, celui-ci contribue à maintenir le potentiel hydrique total dans la plante, inférieur à celui de la solution du sol, une réduction des pertes d'eau et au maintien de la turgescence cellulaire (Chadli et Belkhodja, 2007).

III.5.2. Une bonne compartimentation vacuolaire de Na⁺ et Cl⁻ au niveau des feuilles

La compartimentation vacuolaire des ions toxiques est un facteur majeur de la tolérance au sel. En fait, la compartimentation de Na⁺ et Cl⁻ à l'intérieur des vacuoles est un moyen de prévenir la toxicité dans le cytosol et contribue à l'ajustement osmotique nécessaire à la tolérance à la salinité (Zhu, 2001).

Le mécanisme de compartimentation vacuolaire est assuré par l'action d'un antiport vacuolaire sodium/proton (Na⁺/H⁺) dont l'énergie est fournie par les pompes à protons ATP ases (Adénosine Triphosphatases) et PP ases (Pyrophosphatases) vacuolaires (Zhang et *al.*, 2001), grâce à ce processus de compartimentation de sodium au sein de la vacuole, la cellule parvient à maintenir une faible concentration de sodium dans le cytoplasme, minimisant ainsi son effet toxique ; et d'autre part, l'augmentation concomitante de la concentration de sodium dans la vacuole va engendrer une forte pression osmotique qui va favoriser l'absorption d'eau et donc améliorer la turgescence des cellules (Glenn et *al.*, 1999; Apse et *al.*, 1999).

Glenn et *al.*, (1999) ont constaté une modification de la composition lipidique membranaire des tonoplastes chez les halophytes évitant ainsi la fuite de sodium vacuolaire vers le cytoplasme.

Bien qu'on accorde peu d'attention aux ions chlorures et que la discussion sur le problème de la salinité soit généralement focalisée sur le sodium en raison de sa toxicité, les chlorures représentent pourtant les ions majeurs qui contrebalancent le sodium au niveau de la régulation osmotique (Glenn et *al.*, 1999) et ne sont pas moins toxiques que les ions Na⁺ (Teakle et Tyerman, 2010). La compartimentation vacuolaire devrait aussi concerner ces ions Cl⁻ afin d'éviter leur effet toxique. En 1996, Hechenberger et *al.*, ont démontré l'implication des canaux chlorures CLC dans le mécanisme de compartimentation des ions chlorures à l'intérieure de la vacuole. Les cellules des plantes tolérantes seraient alors capables d'accumuler dans leurs vacuoles des concentrations en Cl⁻ qui peuvent atteindre 200 à 1000 mMol/L sans exigence énergétique supplémentaire à celle mise à disposition par les pompes à protons vacuolaire (Glenn et *al.*, 1999).

III.5.3. Une sélectivité d'absorption et de transport en faveur de K⁺ malgré l'excès de Na⁺

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⁺ (Claussen et *al.*, 1997). Le prélèvement de K⁺ est essentiel pour la turgescence cellulaire et le déroulement des processus biochimiques sous stress salin.

III.5.4. Accumulation d'osmoprotectants

Les osmoprotectants sont des composés organiques de faible poids moléculaire, hautement solubles et qui peuvent s'accumuler à des niveaux élevés sans qu'ils deviennent toxiques pour la cellule (Ashraf et *al.*, 2008). Ils peuvent être des acides aminés tels que la proline ou des composés quaternaires (exemple : glycine betaine) ou encore plusieurs types de sucres et alcool (fructose, glucose, saccharose, mannitol...) (Wang et *al.*, 2003).

L'accumulation de ces composés organiques permet un ajustement des pressions osmotiques cytoplasme-vacuole (Foolad et Ashraf, 2007), une diminution de la peroxydation des lipides et la stabilisation des structures quaternaires des protéines (Hare et *al.*, 1998).

III.5.5. Synthèse des anti-oxydants

Les formes actives d'oxygène, telles que le peroxyde d'oxygène (H₂O₂), les ROS (les radicaux superoxydes (O₂⁻) et hydroxyl (OH)), sont produites au cours des processus cellulaires

aérobies et de façon plus accrue suite aux stress abiotiques, notamment la salinité (Foyer et Noctor 2000).

Les Ros causent d'importants dommages dans les lipides membranaires, des protéines 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).

III.5.6. Régulation de la 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 endotransglycolyse (WU et al 1994). L'autre cause peut être l'accumulation de proline (ober et sharp 1994). Ces deux actions régulent par l'acide abscissique (ABA), qui est induit par le stress salin (Jia *et al.* , 2002).

III.5.7. Induction d'hormones végétales

Sur la base de recherches antérieures, il est clair que la concentration élevée du sel déclenche l'augmentation du contenu de certaines hormones telles que l'acide abscissique (ABA) (Aldesuquy, 1998; Thomas, *et al.*, 1992; Vaidyanathan, *et al.*, 1999). Javid, *et al.*, (2011) ont noté que l'ABA joue un rôle majeur dans la signalisation des réponses d'adaptation des plantes aux stress.

L'augmentation de l'ABA permet aux plantes de s'acclimater sous l'effet d'un déficit hydrique par une fermeture des stomates et l'accumulation de certaines protéines et d'osmoprotectants pour l'ajustement osmotique. Cependant, l'augmentation du taux d'ABA mène à un retard de la croissance des plantes (Gramer et Quarrie, 2002).

Le stress perçu par les racines stimule la biosynthèse et l'accumulation de l'ABA via l'activation des gènes impliqués dans la biosynthèse de l'ABA qui pourrait être activé par des cascades de phosphorylation dépendante du calcium. L'ABA sera transporté comme signal vers les feuilles à travers la régulation de la fermeture des stomates afin de réduire la perte d'eau par transpiration (Uno *et al.*, 2000).

Peterson *et al.* (2009), signalent qu'une forte salinité induit des modifications dans l'architecture racinaire, en altérant l'accumulation des auxines et leurs distributions, cela suggère

que la redistribution des teneurs en auxine au niveau du tissu de la plante est corrélée avec une réduction de la croissance racinaire.

Les cytokinines favorisent la croissance des racines et la différenciation, et elles peuvent également stimuler la germination et retarder le vieillissement des feuilles (Nabors, 2008).

Sous l'effet du stress salin, une réduction de la biosynthèse des cytokinines au niveau du système racinaire et par conséquent une réduction de cytokinines au niveau de la partie aérienne altérerait le réseau d'expression globale des gènes par des réponses appropriées d'élicite pour soulager les effets du stress (Nishiyama et al, 2012).

Les gibbérellines AGs sont connues depuis longtemps pour contrôler divers processus du développement des plantes en activant la dégradation de régulateurs transcriptionnels, les protéines DELLAs.

Le rôle important de la gibbérelline dans la régulation de la croissance des plantes sous l'effet des conditions de stress abiotiques est dû aux protéines DELLA (Achard et al 2006). Une exposition au stress salin induit une réduction du taux de gibbérelline qui coïncide avec une forte accumulation des protéines DELLA (Colebrook et al., 2014), protéines impliquées dans le contrôle des voies de signalisation gibbérelline, qui réduisent la croissance des plantes pour permettre d'améliorer la tolérance au stress salin (Achard et al., 2008).

PARTIE 02

ETUDE

EXPERIMENTALE

CHAPITRE I : MATERIELS ET METHODES.

I.1. Le but de l'expérimentation

Le présent travail a été entrepris en vue de déterminer les réponses éco-physiologiques chez deux variétés de luzerne cultivée (*Medicago sativa*. L) à savoir Speed et Siriver, soumises à différents niveaux de salinité induit par le chlorure de sodium (NaCl).

I.2. Matériel végétal

Nous avons utilisé comme matériel végétal deux variétés de luzerne Speed et Siriver qui sont des variétés introduites adaptées à la sécheresse

I.2.3. Caractéristiques des variétés étudiées

- **Speed** : est une variété qui a été sélectionnée et multipliée en Californie, la zone typique pour la multiplication de semence de luzerne au monde, pour garantir une semence de très haute qualité. Cette variété a été testée et évaluée à l'ITG (Institut Technique des Grandes Cultures), speed a donné de très bons résultats de rendement et de résistance au froid par rapport aux autres variétés d'origine américaines.

Speed est une variété non dormante (indice de dormance 9) avec un arrêt hivernal tardif et un démarrage printanier précoce, la période de dormance très courte, elle s'adapte bien de toutes les régions surtout les zones arides et semi-arides.

- **Siriver** : est une variété d'origine Australienne, connue par son adaptation, son très bon potentiel de production, sa très bonne résistance aux parasites et aux stress. C'est une variété très peu dormante (indice de dormance 8), elle repousse très vite après chaque exploitation. Siriver présente une bonne adaptation à des environnements moyennement secs.

I.3. Méthodologie

I.3.1. Préparation du substrat

Le substrat utilisé est un mélange de sable et de sol de la ferme expérimentale du département des sciences agronomiques de l'université, le sable est tamisé pour éliminer les débris et les déchets et obtenir un sable homogène.

Le semis est réalisé dans des pots en plastique d'un diamètre de 14 cm et d'une hauteur de 16 cm, dont le fond est tapissé avec du gravier afin d'assurer un bon drainage.

Les pots sont remplis d'un mélange de sable et de sol prélevé de la ferme expérimentale, a raison de 1 volume de sable et 2 volume du sol, cette valeur de poids est retenue pour déterminer la capacité de rétention en eau de ce substrat cette caractéristique est nécessaire car elle permet le calcul de la quantité d'eau à apporter lors de l'arrosage.

I.3.2. Semis

Le semis a été effectué manuellement à raison de cinq graines par pots, pour chaque variété testées à une profondeur ne dépasse pas 1 cm, les semences sont couvertes et tassée pour un meilleur contact graine sol. Le semis a été réalisé le 28-02-2022.

I.3.3. Préparation des solutions salines

Les solutions salines ont été préparées à partir de l'eau de robinet et de chlorure de sodium NaCl dont les proportions sont indiquées dans le tableau (I.1), ainsi que la conductivité électrique correspondante à chaque solution.

I.3.4. Application du stress salin

Le stress est appliqué le 09-5-2022 pendant trois semaine a raison de deux applications par semaine.

Tableau I.1 : Composition des solutions salines et la conductivité correspondante

Traitement	Concentration de NaCl en g/l	Concentration de NaCl en mM	Conductivité électrique du solution en ms/cm.
T0	0	0	1.64
T1	3	50	7.043
T2	9	150	20.19
T3	12	200	21.3

I.3.5. Détermination de la capacité de rétention en eau du sol

La capacité de rétention en eau correspond à la différence pondérale entre un échantillon de sol et le même échantillon saturé d'eau par capillarité, après un séjour de 24 heures de ressuyage. L'opération effectuée a permis de déterminer la capacité de rétention en eau du sol qui est de 26.12 % (26.12 ml pour 100g de terre séchée à l'air libre), ce qui correspond à 400 ml d'eau nécessaire à l'arrosage de chaque pot.

I.4. Dispositif expérimental

L'essai s'est déroulé au sein de la serre de la ferme expérimentale du département des sciences agronomiques de l'université Mohamed Boudiaf

Dans ce travail le dispositif expérimental adopté est le dispositif en randomisation totale, avec deux facteurs étudiés et quatre répétitions :

- Le premier facteur étudié est le facteur salinité avec 4 niveaux (T0, T1, T2, T3)
- Le deuxième facteur étudié représenté par les populations (2 niveaux) Speed et Siriver.

Le schéma du dispositif adopté est représenté dans le schéma suivant :

T3 POP SIRIVER r3	T1 POP SIRIVER r3	T2 POP SPEED r3	T0 POP SPEED r2	T2 POP SPEED r2	T2 POP SIRIVER r4	T0 POP SPEED r3	T0 POP SIRIVER r4
T3 POP SIRIVER r4	T2 POP SIRIVER r3	T1 POP SPEED r4	T0 POP SIRIVER r1	T1 POP SPEED r1	T0 POP SPEED r1	T2 POP SIRIVER r2	T3 POP SPEED r3
T2 POP SPEED r4	T1 POP SPEED r3	T1 POP SIRIVER r1	T2 POP SPEED r1	T1 POP SIRIVER r4	T3 POP SPEED r2	T0 POP SIRIVER r3	T3 POP SPEED r4
T1 POP SPEED r2	T3 POP SIRIVER r1	T1 POP SIRIVER r2	T3 POP SPEED r1	T0 POP SIRIVER r2	T0 POP SPEED r4	T2 POP SIRIVER r1	T3 POP SIRIVER r2

Figure I.1 : représentation schématique du dispositif expérimentale adopté

I.5. Paramètres mesurés

- **Hauteur de la tige principale** : La longueur de la tige est mesurée à l'aide d'un mètre ruban (cm), dès collet jusqu'à l'extrémité de la partie aérienne.
- **Longueur de la racine** : Mesure de la racine principale du collet jusqu'à la coiffe racinaire de chaque plante, cette mesure est réalisées à l'aide d'un mètre ruban (cm).
- **Nombre de feuille par plante** : il représente le nombre de feuilles trifoliées élaborées par la plante.
- **Poids frais** : Il est obtenu après avoir effectuée une coupe au niveau du collet et pesage à l'aide d'une balance de précision.

- **La teneur en proline**

La proline est dosée par la méthode de Troll et Lindsley (1954), simplifiée et mise au point par DRIER et GORING (1974). Cette méthode se base sur la coloration rouge produite par l'interaction de la proline avec de la ninhydrine dans un tampon acide.

- **La teneur en sucres totaux**

Les sucres solubles sont dosés par la méthode de Dreywood(1946) modifiée par Shiends et Burnett (1960) ; le principe de la réaction est basé sur la coloration des produits de dégradation des oses neutre par l'acide sulfurique, qui très concentré, transforme à chaud les glucides en dérivés sulfuriques se colorant en Bleu-vert avec l'anthrone.

I.6. Analyse statistiques

Les résultats obtenus ont été analysés par l'analyse de la variance à deux critères de classification à l'aide d'un logiciel statistique STATBOX version 4.6, Le seuil de signification retenu est 5%. Les moyennes sont comparées par la méthode Newman et Keuls basée sur la plus petite amplitude significative.



Figure I.2 : Le dispositif expérimental adopté dans la serre

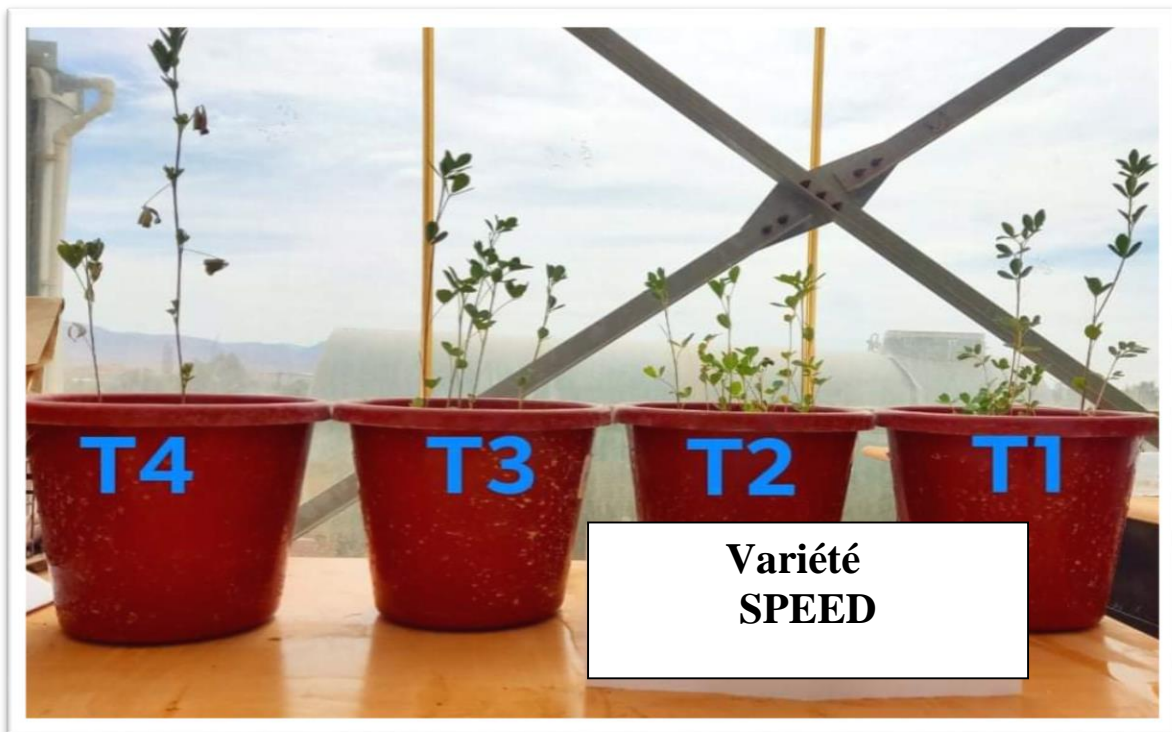
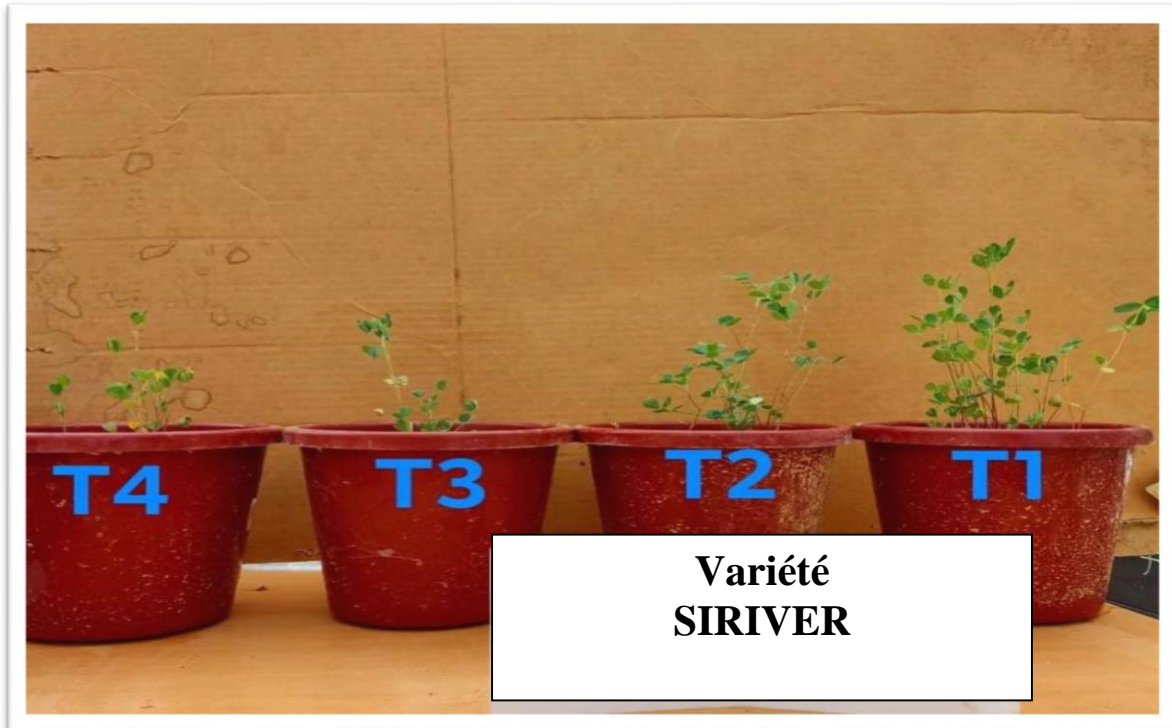


Figure I.3 : Effet de la salinité sur les deux variétés de luzerne testées : Speed et Siriver
Après trois semaines de stress



Figure I.4 : Effet de la salinité sur la partie aérienne et racinaire des deux variétés testées après trois semaines de stress.



Figure I.5 : Mesure du poids frais de la partie aérienne et racinaire.



Figure I.6 :
Mesure de la
longueur de
la partie
aérienne et
racinaire.



Figure I.7 : Dosage de la proline



Figure I.8 : dosage des sucres totaux.



Figure I.9 : Mesure de la conductivité électrique des solutions salées.

CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSIONS

II.1. Effet de la salinité sur la longueur de la partie aérienne

- **Résultats**

Les résultats exprimant la longueur de la partie aérienne sont présentés dans le tableau II.1 et illustrés par l'histogramme figure II.1

Tableau II.1 : Analyse de la variance de la longueur de la partie aérienne.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	SIGNF
VAR.TOTALE	35,335	31	1,14			
VAR.FACTEUR 1	3,446	3	1,149	3,533	0,02964	*
VAR.FACTEUR 2	14,178	1	14,178	43,61	0	***
VAR.INTER F1*2	9,908	3	3,303	10,159	0,00019	***
VAR.RESIDUELLE 1	7,803	24	0,325			

L'analyse de la variance a montré une différence significative entre les différents traitements salins pour l'effet salinité, cependant la différence est très hautement significative pour l'interaction ainsi que pour l'effet variétés.

Chez la variété Speed une stimulation nette de la croissance est affichée dès l'application du stress (50mM) pour une hauteur de 6.62 cm, cette croissance reste inchangée pour le traitement T2 (150mM NaCl), puis une diminution légère s'enregistre pour le traitement le plus sévère (200mMNaCl) pour une hauteur de 6.12 cm.

Néanmoins chez la variété Siriver une diminution proportionnelle avec le niveau du stress est exprimée, car les plus fortes valeurs sont enregistrées par les traitements T0 et T1 pour des hauteurs de 5.87 cm et 5.25 cm respectivement, alors que les plus faibles valeurs sont affichées chez T2 et T3 pour des hauteurs de 4.37 et 3.92 cm respectivement.

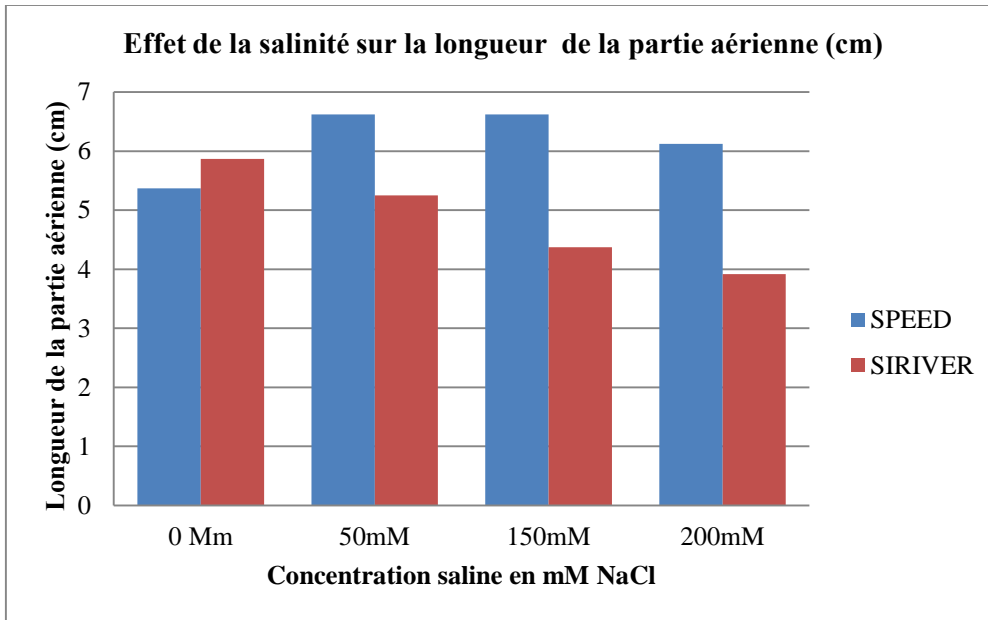


Figure II.1 : effet de la salinité sur la longueur de la partie aérienne.

- **Discussion**

Nos résultats montrent que la croissance de la partie aérienne chez la population speed est stimulée par la salinité, tandis que chez la population siriver la croissance de la partie aérienne diminue avec l'augmentation de l'intensité du stress.

Généralement, le traitement des plantes par des doses croissantes en NaCl affecte la croissance en longueur des plantes, et entraînaient un nanisme par l'inhibition de la division et de l'élongation cellulaire, qui sont les phénomènes les plus souvent reportés pour expliquer ces effets du NaCl (Seregin et Ivanov, 2001 ; Malkwoski et *al.*, 2002 ; Patra et *al.*, 2004 ; Kopittke et *al.*, 2007).

L'effet dépressif de la salinité sur la croissance des plantes peut avoir deux causes principales, non exclusives : les difficultés d'alimentation en eau et en nutriments et la toxicité des ions accumulés en excès dans la plante (Xiong et Zhu, 2002).

La réduction de croissance de la partie aérienne est une capacité adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à un stress abiotique. En effet le retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente à un seuil ou les dommages sont irréversibles.

II.2. Effet de la salinité sur la longueur de la partie racinaire.

- **Résultat**

Les résultats relatifs à la longueur de la partie racinaire sont compris dans le tableau II.2 et illustrés par l’histogramme figure II.1

Tableau II.2 : Analyse de la variance de la longueur de la partie racinaire

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	SIGNF
VAR.TOTALE	49,855	31	1,608			
VAR.FACTEUR 1	13,143	3	4,381	4,665	0,01051	*
VAR.FACTEUR 2	4,651	1	4,651	4,953	0,03399	*
VAR.INTER F1*2	9,521	3	3,174	3,379	0,03436	*
VAR.RESIDUELLE 1	22,54	24	0,939			

L’analyse de la variance a révélé une différence significative autant pour les effets simples (salinité et variété) que pour l’effet combiné des deux facteurs (interaction salinité variété).

Chez la variété Speed la croissance racinaire se stimule dès la présence de NaCl dans le milieu (50mM de NaCl), cette croissance reste statistiquement stable pour les autres niveaux de stress T2 et T3. Chez la variété Siriver la stimulation de la croissance racinaire ne s’exprime qu’à partir de 150mM de NaCl pour une longueur de 4.80cm pour atteindre la plus longueur estimée à 4.82 cm chez T3 (200mM), les deux premiers niveaux de stress à savoir T0 et T1 enregistrent les mêmes longueurs racinaires 2.45cm et 2.50cm.

En absence de salinité les deux populations expriment presque la même longueur de la partie racinaire

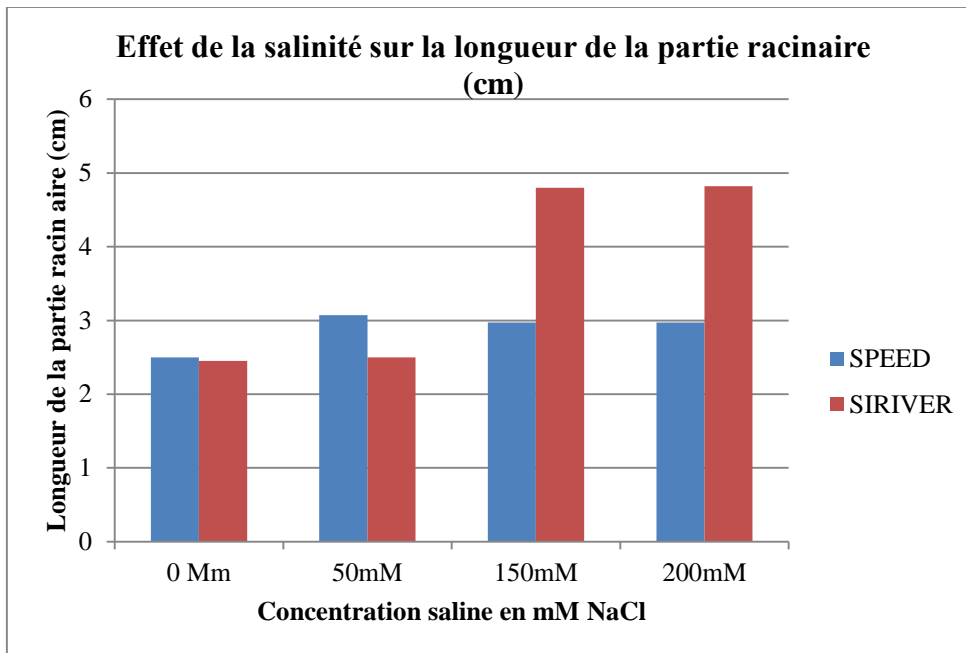


Figure II.2 : effet de la salinité sur la longueur de la partie racinaire.

- **Discussion**

Les effets de salinité sur la croissance et la productivité végétale ne sont pas toujours négatifs.

Troncoso et *al.*, (1988), ont constaté que chez les variétés de Triticale, la croissance des racines n'a pas été affectée par le NaCl ; elle est même stimulée chez les variétés tolérantes. Cette stimulation s'observe également chez le blé cultivé en présence de NaCl (Hamza, 1967).

La diminution du potentiel hydrique provoqué par la salinité stimule le développement des racines en profondeur et ce à la recherche de l'eau, ce qui implique le développement de la partie racinaire (Bizid et *al.*, 1988).

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 xyloglucanendotransglycolyse (WU et al, 1994). L'autre cause peut être l'accumulation de proline (Ober et Sharp ,1994). Ces deux actions régulées par l'acide abscissique (ABA), qui est induit par le stress salin (Jia et *al.*, 2002).

II.3. Effet de la salinité sur le nombre de feuilles

- **Résultats**

Les résultats caractérisant le nombre de feuilles sont groupés dans le tableau II.3 et illustrés par l'histogramme figure II.3.

Tableau II.3 : Analyse de la variance pour le nombre de feuilles.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	Sign
VAR.TOTALE	14	31	0,452			
VAR.FACTEUR 1	1	3	0,333	0,8	0,50864	NS
VAR.FACTEUR 2	2	1	2	4,8	0,03656	*
VAR.INTER F1*2	1	3	0,333	0,8	0,50864	NS
VAR.RESIDUELLE1	10	24	0,417			

L'influence de l'effet variété sur le nombre de feuilles est révélée par l'analyse de la variance avec une différence significative (probabilité=0.03). Contrairement à l'interaction salinité × variété et l'effet salinité où la différence est non significative.

Pour l'effet salinité, la variété Speed affiche un nombre de feuilles nettement supérieur par rapport à la variété Siriver.

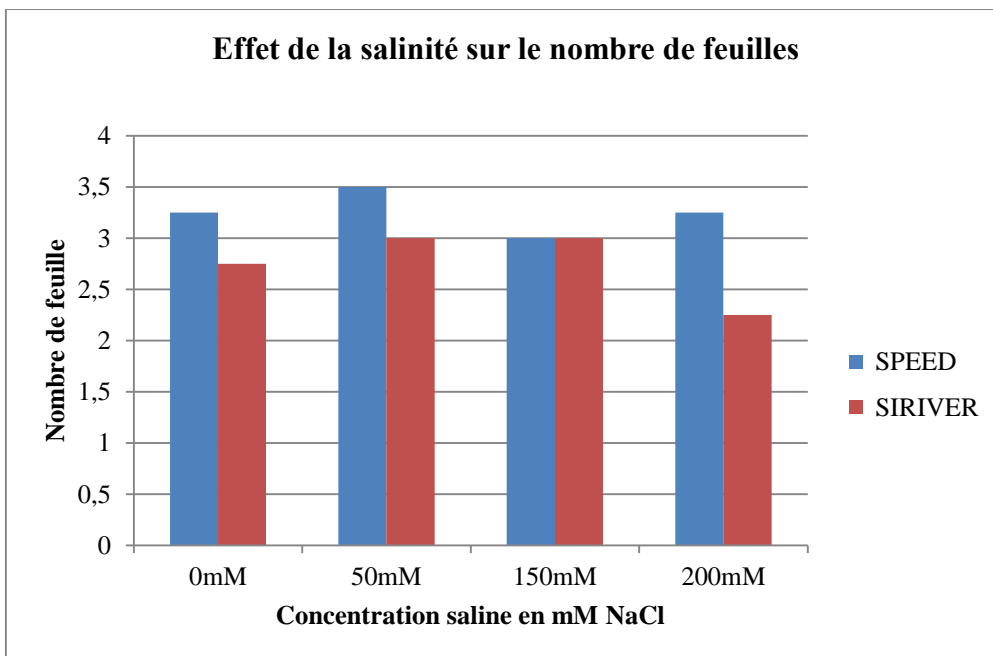


Figure II.3 : effet de la salinité sur le nombre de feuilles.

- **Discussion**

Ouhdache et al (2016), signalent que l'action dépressive du sel se manifeste par une réduction du nombre des feuilles et de la surface foliaire chez deux variétés du blé tendre au stade montaison, notamment à la plus forte concentration saline.

Selon Brügnoli et al (1992) ; Ziani (1999), ce sont les organes photosynthétiques qui manifestent une plus forte sensibilité au stress salin que les organes d'absorption. Le degré d'inhibition due à la salinité sur la croissance dépend du genre, de l'espèce, de la variété, ainsi que du stade de développement de la plante et de la nature de l'organe (Hachicha, 1998).

II.4. Effet de la salinité sur le poids frais de la partie aérienne

- **Résultats**

Tous les résultats exprimant le poids frais de la partie aérienne sont compris dans le tableau II.4 et illustrés par l'histogramme figure II.4.

Tableau II.4 : Analyse de la variance du poids frais de la partie aérienne

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	Sign
VAR.TOTALE	2548,719	31	82,217			
VAR.FACTEUR 1	606,344	3	202,115	5,616	0,00469	***
VAR.FACTEUR 2	457,531	1	457,531	12,713	0,00165	***
VAR.INTER F1*2	621,094	3	207,031	5,753	0,00419	***
VAR.RESIDUELL1	863,75	24	35,99			

La différence révélée par l'analyse de la variance, est très hautement significative pour les effets simples (variété, salinité) ainsi que pour l'effet interaction salinité × variété.

Une augmentation du poids frais de la partie aérienne s'affiche dès l'application du niveau T1 chez la variété speed pour un taux d'augmentation de 12.7% par rapport au témoin, ce poids connaît une diminution légère pour le traitement T2 pour un poids frais de 42.75 mg, pour atteindre enfin le poids frais le plus élevé chez 200Mm de NaCl pour un poids frais de 45.25 mg et un taux d'augmentation de 12.8%.

Chez la variété Siriver une diminution notable s'exprime dès l'application de NaCl dans le milieu racinaire (T1= 50Mm) avec un taux de diminution de 22% par rapport au témoin, cependant le poids frais s'élève pour atteindre la plus grande valeur estimée à 57.25mg chez le

niveau T2 (150mM de NaCl), puis pour enregistré un poids de 55 mg chez le stress le plus sévère à savoir 200mM de NaCl.

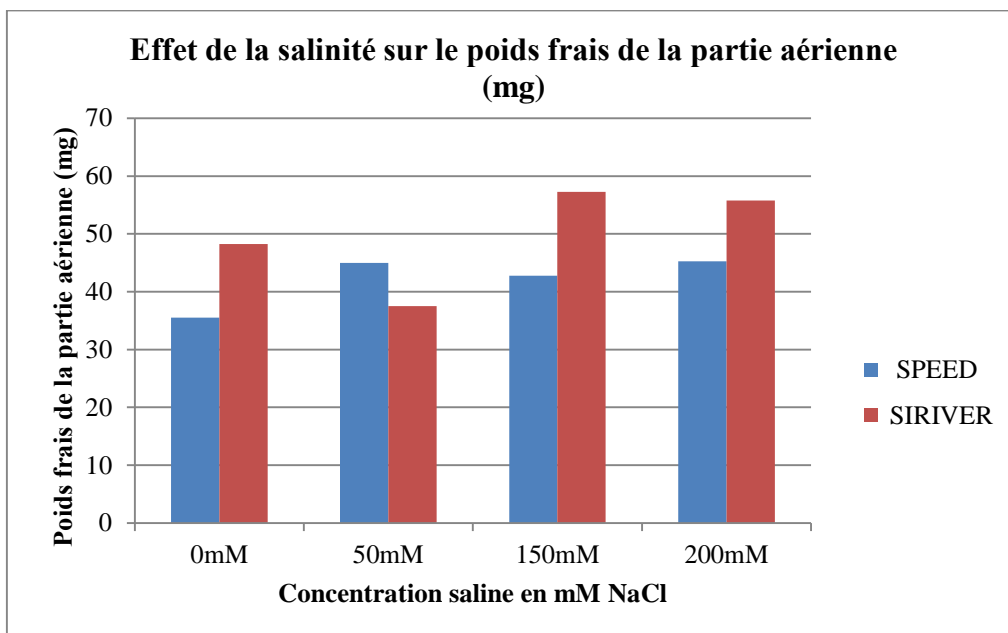


Figure II.4 : effet de la salinité sur le poids frais de la partie aérienne.

- **Discussion**

De nombreux auteurs dont, Stark et Jarrel (1980), ont trouvé qu'une salinité modérée peut améliorer la croissance respectivement du sorgho, du tabac et du Maïs.

D'après Marshner (1995), la stimulation de croissance par la salinité trouve son explication dans l'effet bénéfique de Na⁺ sur l'expansion cellulaire et la balance hydrique. En revanche Chapin (1991), l'attribue à l'accumulation des hormones de croissance en réponse au sel, comme l'ABA.

II.5. Effet de la salinité sur le poids frais de la partie racinaire

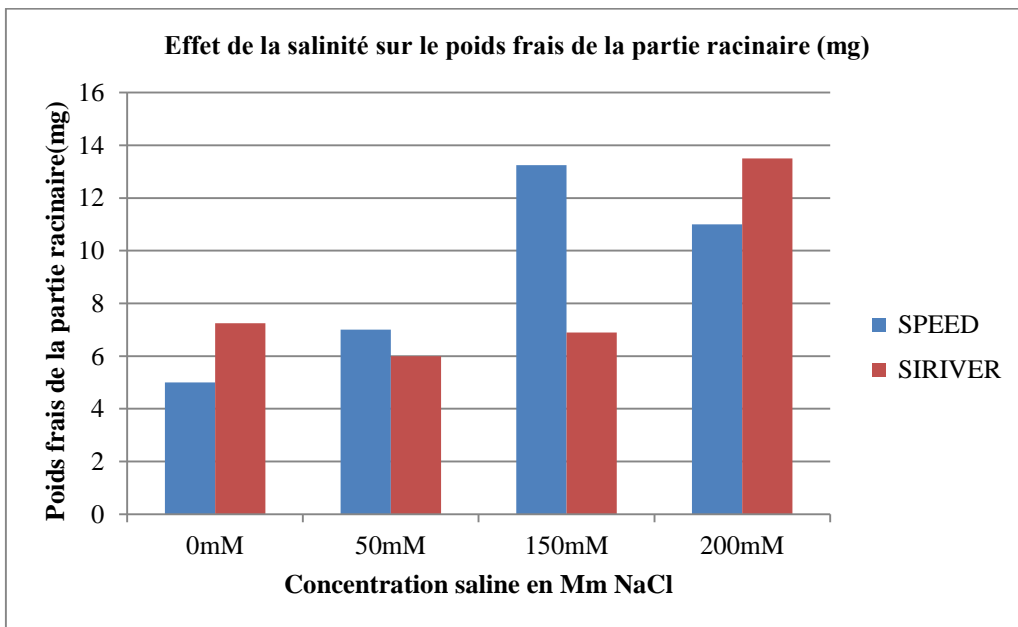
- **Résultats**

Les différents résultats exprimant le poids frais de la partie racinaire sont présentés dans le tableau II.5 et illustrés par l’histogramme figure II.5.

Tableau II.5 : Analyse de la variance du poids frais de la partie racinaire.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	Sign
VAR.TOTALE	1016,755	31	32,799			
VAR.FACTEUR 1	207,665	3	69,222	2,36	0,09558	NS
VAR.FACTEUR 2	3,38	1	3,38	0,115	0,73618	NS
VAR.INTER F1*2	101,89	3	33,963	1,158	0,34664	NS
VAR.RESIDUELLE1	703,82	24	29,326			

L’analyse de la variance pour ce paramètre, a montré une différence non significative entre les différents traitements et entre variétés ainsi que pour leur effet en interaction sur le poids frais racinaire.



FigureII.5 : Effet de la salinité sur le poids de la partie racinaire

- **Discussion**

De faibles concentrations dans le milieu peuvent stimuler la croissance (Colmer et al., 1995). Cet effet de stimulation de la croissance par le sel (NaCl) est particulièrement visible sur le cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) où l'on observe, en présence d'une teneur de 6g/l de NaCl, une augmentation de croissance pondérale et un allongement excessif des racines.

Benmahioulet al (2009), ont rapporté que la présence de NaCl dans le milieu de culture provoque chez les vitroplants de *Pistacia vera* L. une réduction des poids frais et sec des parties aériennes alors qu'il améliore ceux des racines. (Munns et Teraat, 1986 ; Nabil et Coudret, 1995 in Viegas et Silveira, 1999).

II.6. Effet de la salinité sur la teneur en proline des feuilles

- **Résultats**

Le tableau II.6 rassemble les différents résultats de la teneur en proline des feuilles. Ces résultats sont ensuite illustrés par l'histogramme figure II.6.

Tableau II.6 : Analyse de la variance pour le teneur en proline.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	
VAR.TOTALE	163,062	23	7,09			
VAR.FACTEUR 1	33,638	3	11,213	4,196	0,02264	*
VAR.FACTEUR 2	6,987	1	6,987	2,615	0,12203	NS
VAR.INTER F1*2	79,682	3	26,561	9,94	0,00066	***
VAR.RESIDUELLE1	42,753	16	2,672			

La mise en évidence de l'analyse de la variance de l'existence d'une différence non significative pour le facteur variété, n'élimine cependant pas la présence d'une différence significative pour l'effet salinité, cette différence est plutôt très hautement significative pour l'effet interaction.

Une accumulation spectaculaire de proline foliaire est induite par le stress salin chez la variété Speed, pour des teneurs de 4.76 et 8.16 µg/100mg de MF chez les niveaux T1 et T2, avec des taux de d'augmentation de 187% et 322% respectivement, la plus faible teneur est enregistrée chez le stress le plus intense 200mM avec une valeur de 1.74 µg/100mg de MF.

Le comportement de la variété Siriver s'exprime par une augmentation graduelle et légère avec des valeurs allant de 2.15 et 2.71 µg/100mg de MF chez les niveaux T1 et T2 respectivement

pour atteindre une teneur la plus élevée estimée à 6.28 μ g/100mg de MF pour le traitement 200Mm en NaCl avec un taux de d'augmentation de 361%.

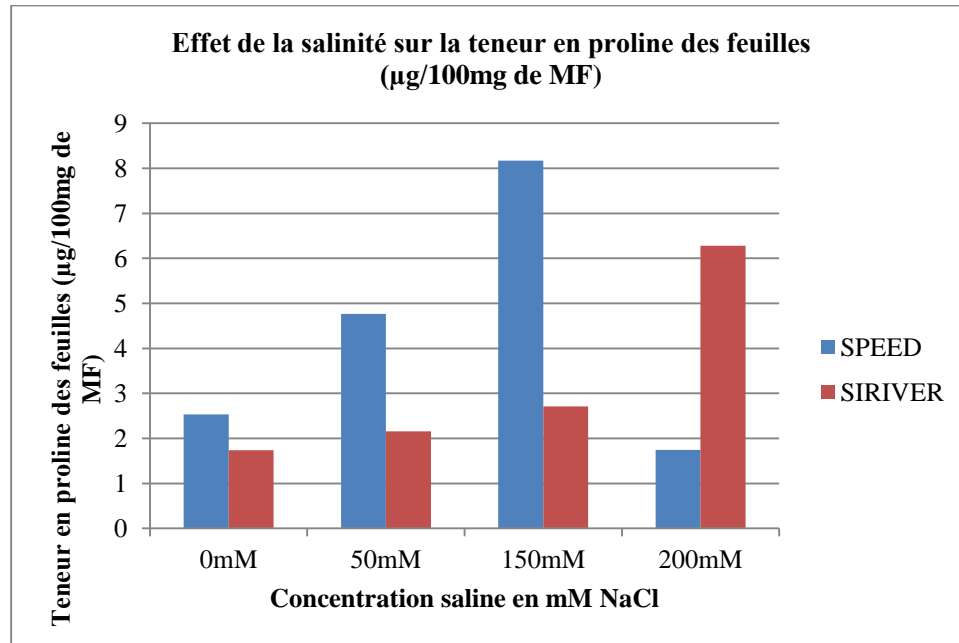


Figure II.6 : effet de la salinité sur la teneur en proline des feuilles.

- **Discussion**

Nos résultats montrent une augmentation de la teneur en proline au niveau des feuilles des plantes stressées. Cette augmentation pourrait être due à une accumulation de cet acide aminé suite à l'activation de sa biosynthèse et de la répression de son catabolisme dans la mitochondrie.

En condition de stress l'accumulation de la proline est corrélée à l'activation des enzymes impliquées dans sa biosynthèse, la delta 1-pyroline-5-carboxylate synthétase (P5CS : gamma-glutamyl kinase) ainsi qu'à l'inhibition de la proline deshydrogenase (ProDH) qui est par contre impliquée dans le catabolisme de cet acide aminé (Ben rejeb et *al.*, 2014).

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

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

De nombreux travaux mettent en évidence une richesse en proline des partie aérienne et en particulier les feuilles chez plusieurs espèce tel que *Atriplex halimus*L.(bidai, 2001), tomate (Pérez-Alfocea et larher, 1995).

II.7. Effet de la salinité sur la teneur en sucres totaux.

- **Résultats**

Le tableau II.7 rassemble les différents résultats de la teneur en sucres totaux des feuilles sous l'effet de la salinité chez les deux variétés de luzerne. Ces résultats sont ensuite illustrés par l'histogramme figure II.7.

Tableau II.7 : Analyse de la variance pour la teneur en sucres totaux.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	SIGN
VAR.TOTALE	2777,313	23	120,753			
VAR.FACTEUR 1	2459,69	3	819,897	73,366	0	***
VAR.FACTEUR 2	53,075	1	53,075	4,749	0,04267	*
VAR.INTER F1*2	85,74	3	28,58	2,557	0,09077	NS
VAR.RESIDUELL1	178,807	16	11,175			

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les différents traitements salins pour le facteur salinité, ainsi une différence significative pour le facteur variété, néanmoins l'effet interaction est non significative.

Pour les effets simples, la variété Siriver affiche des teneurs en sucres totaux nettement supérieures par rapport à la variété Speed pour des teneurs de 35.36 µg/100mg de MF et 32.38 µg/100mg de MF respectivement. Pour le facteur salinité, plus le stress s'accroît plus les feuilles se chargent en sucres totaux, ainsi les plus fortes teneurs sont enregistrées chez les traitements les plus chargés en NaCl à savoir T2 et T3 pour des valeurs de 41.92 et 45.55µg/100mg de MF, les plus faibles teneurs sont affichées par le traitement témoin T0 et T1 pour des teneurs de 21.37 et 26.63 µg/100mg de MF respectivement.

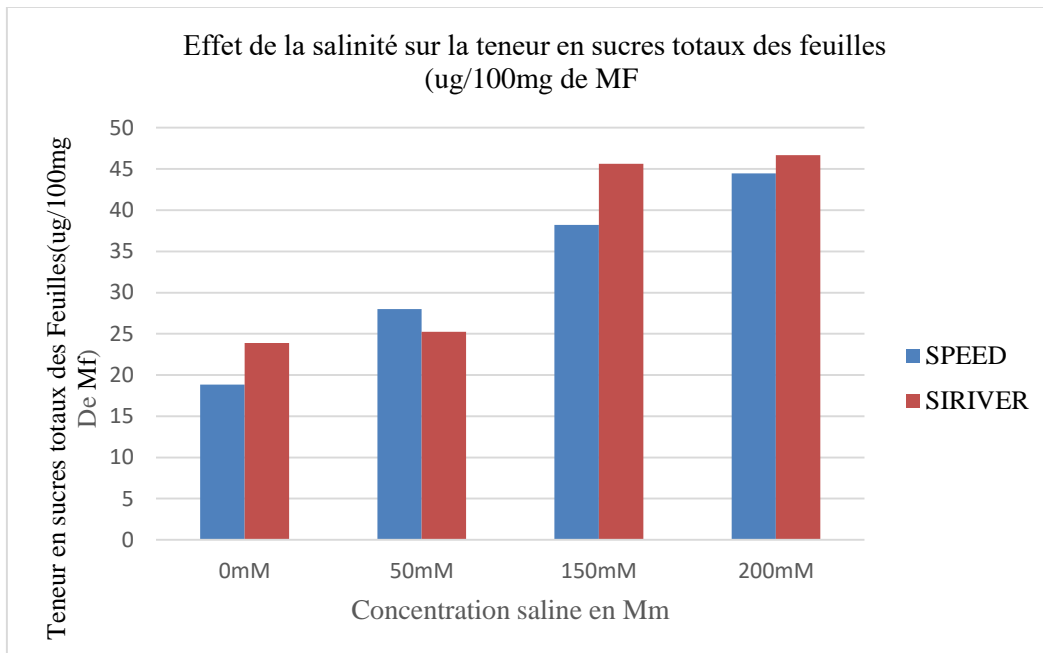


Figure II.7 : effet de la salinité sur la teneur en sucre totaux des feuilles.

- **Discussion**

Certaines espèces s'adaptent à la salinité en accumulant des sucres solubles, produits par (blocage de la glycolyse) ou le saccharose (provenant de l'hydrolyse de l'amidon). Ces sucres sont abondants dans le cas de concentration fortement salines (Binet, 1980) et déshydratantes (Hubac et al, 1972).

Udomchalothorn et al., (2009) observent chez les plantes de riz soumises à un stress une diminution de l'activité du fructose-2,6-biphosphatase, conduisant à une accumulation de saccharose et contribuant ainsi à l'augmentation de la tolérance au sel chez certaines variétés en augmentant l'osmolarité interne des cellules et les réserves disponibles en carbone.

Les sucres solubles agissent aussi comme des signaux moléculaires en cas de stress (Chaves et al., 2009), ils sont nécessaires pour soutenir la régulation de l'expression de divers gènes impliqués dans la croissance des plantes (Ho et al., 2001 ; Rolland et al., 2006) en particulier ceux qui sont responsables de la photosynthèse et la synthèse d'osmolytes (Rosa et al., 2009).

Des jeunes plants de pois chiches, *Cicer arietinum*, cultivés en présence de NaCl, présentent de fortes quantités de saccharose et d'un sucre alcool, le pinitol.

Ashraf et Tufail,(1995) ont déterminés la quantité totale des sucres solubles chez cinq variétés de tournesol, leurs résultats montrent que les lignés résistantes accumulent plus de sucres que les lignés sensible.

CONCLUSION

En réponse au stress salin, les plantes développent une grande variété de mécanismes pour détecter, répondre et s'adapter à un large éventail de changements environnementaux. La survie et la croissance des légumineuses en condition de contrainte saline sont liées à des processus adaptatifs liés au transport et à la compartimentation des ions, à la biosynthèse et l'accumulation d'osmolytes organique qui participent à l'ajustement osmotique et à des accumulations protéiques nécessaires au maintien de l'intégrité cellulaire (Hamoud, 2012). Les résultats obtenus dans ce travail ont permis d'avoir des renseignements préliminaires sur l'effet de salinité sur les paramètres éco physiologiques des deux variétés de luzerne cultivée : Speed et Siriver

L'effet du stress salin sur les paramètres morphologiques s'est traduit par une stimulation nette de la croissance caulinaire chez la variété Speed avec un taux d'augmentation de 123% pour la valeur la plus élevée (6.62cm) induite par les deux niveaux 50 et 150mM NaCl, néanmoins chez la variété Siriver la croissance en longueur est inversement proportionnelle à la sévérité du stress, pour un taux de diminution de 33% par rapport au témoin chez le traitement le plus intense en NaCl (200mM NaCl).

Pour la croissance racinaire les deux variétés expriment le même comportement avec une nette stimulation des racines en présence du NaCl dans le milieu racinaire, les plus grandes racines sont enregistrées chez le stress le plus intense (200mM NaCl) pour des valeurs de 2.97cm et 4.82 cm chez Speed et Siriver respectivement.

L'influence de la salinité sur le nombre de feuilles n'a pas été révélée chez les deux variétés testées, le nombre de feuilles reste pratiquement inchangé quel que soit le niveau de stress appliqué. Pour le poids frais de la partie aérienne l'application du traitement 50mM en NaCl a induit une augmentation significative chez Speed à l'opposé une diminution s'est affichée chez Siriver, puis les deux variétés affichent une augmentation chez les traitements les plus contraignant, quant au poids frais des racines aucun changement n'a été induit par le NaCl ceux-ci est valable pour les deux variétés.

Concernant les variations des paramètres physiologiques liés à l'ajustement osmotique l'accumulation de la proline connaît une accumulation spectaculaire chez la variété Speed enregistrant des taux de d'augmentation estimés à 187% et 322% chez les

traitements 50mM et 150Mm NaCl respectivement, chez Siriver l'accumulation de la proline a été graduelle et moins importantes par rapport à la variété Speed. Pour les sucres totaux la variété Siriver enregistre des teneurs plus élevées on la comparant à la variété Speed

Enfin nous pensons que les deux variétés testées manifestent des traits morpho physiologiques intéressants d'adaptation à la salinité, dans le cadre d'un futur travail il est souhaitable :

- D'élargir le nombre de variétés analysés et de travailler notamment sur des populations locales mieux adaptées à nos conditions pédoclimatiques
- D'établir un profil de l'ensemble des protéines synthétisées lors du stress salin (analyse protéomique)
- D'approfondir nos études sur d'autres paramètres plus déterminants dans l'adaptation à la salinité (le système antioxydants enzymatiques et non enzymatiques, dosage des espèces réactives d'oxygène (ROS), et implication des régulateurs de croissance).

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Abdelguerfi, A. et Laouar, M. (2002).** - Les espèces fourragères et pastorales, leurs utilisations au Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). FAO - RNE. 135 p.
accumulation is more sensitively triggered in roots than in shoots. *J Exp Bot* 53 : 2201-2206.
- **Achrad P., Renou J., Harberd N., Genschik P. 2008.** – plant DELLAs restrain growth and promote survival of adversity by the levels reactive oxygen species. *Current biology.*, 18: 656-660.
- **Achrad P., Cheng H., De grauwe L., Decat J., Schoutteten H., Moritz T., Van Der Straeten D., Peng J., Harberd N., 2006.** – integration of plant responses to environmentally activated phytohormonal signals. *Science.*, 3(11): 91-94.
- **Alarc J., Sanchez-Blanco M., Bolar n M., Torrecillas A. 1993.** -Water relations and osmotic adjustment in *Lycopersicon esculentum* and *L. pennellii* during short-term salt exposure and recovery. *Physiologia Plantarum* 89:441-447.
- **Aldesuquy, H. (1998).**- Effect of seawater salinity and gibberellic acid on abscisic acid, amino acids and water-use efficiency by wheat plants. *Agrochimica* , 42, 147-157.
- **Alem et al, 2002.**- Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biologies*, Vol. 325: pp1097-1109.
- **Alexandra J. 2018.** « Forage legumes »² [archive], sur croptgenbank.sgrp.cgiar.org (consulté le 9 septembre 2018).
- **Allen et Allen ., 1981.**- The Leguminosae, a source book of characteristics, uses and nodulation. The University of Wisconsin press. Madison. Aminéschez 2 souches de *Rhizobium meliloti*. Mémoire de DES. Université d'Oran 66 pp
- **Alonso Jorge, R. (2004).**- Tratado de Fitofarmacos y Nutracéuticos".1 Ed. Editorial CORPUS Rosario, Argentina. 120-124.
- **Anonyme., 2015** - LES CULTURES FOURRAGERES .Revue par OPU. Chapitre 10.
- **Antipolis S. , 2003** - Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens- étude bibliographique du plan bleu 2 : p.44-48 .

- **Apse M.P et Blumwald E., 2002** – engineering salttolerance in plants. Current opinion in biotechnology ; 13 : p146-150.
- **Apse, M., Aharon, G., Snedden, W., & Blumwald, E. (1999).** - Salt tolerance conferred by overexpression of a vacuolar Na⁺/H⁺ antiport in Arabidopsis. Science, 285, 1256-1258.
- **Ashraf M., Athar H.R., Harris P.J.C., kwon T.R., 2008.** – Some prospective strategies for improvingcropsalttolerance. Chapter 2. Advences in Agronomiy 97 : 45-92.
- **Ashraf M., Tufail M., 1995.** –variation in salinity tolérance in sunflower (*Helianthus annus* L.) J. Agron.soil sci.174:351-362.
- **Ashraf, M., 2001** – Relationships between growth and gas exchange characteristics in somesalt-tolerant amphidiploid Brassica species in relation to theirdiploid parent. Environmental and experimentalbotany, 45, 155 - 163.
- **AUBERT (G.) , 1985.-** Utilisation des terres et alimentation . des populations des pays tropicaux en voie de déve loppement . C.R. Ac . d'Agriculture de France . Tome 71 , n ” 10 .
- **Ayashi, H., &Murata, N. (1998).** Genetically engineered enhancement of Salt Tolerance in Higher Plants. In: Stress Réponse of Photosynthetic organisms: Molecular Mechanisms and Molecular Regulation . (N. Sato Murata, Éd.) Elsevier, Amsterdam.
- **Aydi S., Drevon J.J et Abdelly C.2004 :-** Effect of salinity on root-nodule conductance to oxygen diffusion in the Medicagotruncatula-Sinorhizobiummelilotisymbiosis.PlantPhysiolBiochem. 42:833-840.
- **Babu, M., Singh, D., & Gothandam, K. (2012).** The effect of salinity on growth, hormones and mineral elements in leaf and fruit of tomato cultivar PKM1. J Anim Plant Sci , 22, 159-164.
- **Bayuelo-Jiménez, J., Craig, R., & Lynch, J. (2002).** Salinity tolerance of Phaseolus Species during Germination end early Seedling Growth. CropSci , 42, 1584-1594.
- **Belkhodja M et Benkabilia M. 2000** – proline reponse of faba bean (*vicia faba* L.) under salt stress. Egypt.j.agri.res., 78(1)185-195.
- **Belkhodja M., Bidai Y., 2004 :** Réponse de la germination des graines D’*Atriplex halimus* L . sous stress salin. Revue sechresse N 4, Vol. 15, 331-335.

- **Ben rejeb K., Abdelly C., savouré A.**2014.- How reactive oxygen species and proline face stress together. *Plant physiology and biochemistry.*, 80: 278-284.
- **BENMAHIOUL B., DAGUIN F., et KAID-HARCHE M., 2009.** Effet du stress salin sur la germination et la croissance *in vitro* du pistachier (*Pistacia vera* L.).*C. R. Biologies*, 332 :164- 170.
- **Berthomieu P, Conejero G, Nublat A, Brachenbury WJ, Lambert C, Savio C, Uozumi N, Oiki S, Yamada K, Cellier F, Gosti F, Simonneau I T, Essah PA, Tester M, Very AA, Sentenac H, Casse F. 2003.** -Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *EMBO Journal*. 22: 2004- 2014.
- **Bidai Y., 2001.** –le métabolisme de la proline chez l'atriplex halimus L. stressée à la salinité. These de Magister, Uni. Oran, 89p.
- **Binet p., 1980** –la salinité. Phytotron-gif sur Yvette-2-3 juin .14p
- **Birouk, A., Bouizgaren, A. et Baya, B., 1997.** La luzerne (*Medicago sativa* L.). In: Production et utilisation des cultures fourragères au Maroc, Ed. JARITZ G. et BOUNEJMATE M., 1997. INRA, Maroc. 1997. pp : 126 – 139.
- **Bischoff J. 1999.** – salt salinity tolerance of common agricultural crops in south dakota. South dakota state university. Fact sheet 903.
- **Blaylock A.D. 1994.** -soil salinity, salt tolerance, and Growth potential of horticulture and landscape plants. University of Wyoming. Cooperative extension service. B-988.
- **Bohnert H.J., Jensen R.G., 1996.** Metabolic engineering for increased salt tolerance the next step. *Aust. J. Plant Physiol.* 23: 661–666.
- **Boualla N., Benziane A., Derriche Z., 2012.** –origine de la salinisation des sols de la plaine de M'leta, Oran Algeria *Journal of Applied Biosciences* 53 : 3787 -3796 ISSN 1997-5902.
- **Bouhaddi k., 2009.**-reponses physiologiques, biochimiques, et anatomiques chez le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.). Uni Oran. These Magister. Algerie.
- **Boukhelout S., 2009.**- Influence de la salinité sur le métabolisme azoté de l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.). Uni Oran, Thèse de magister, Algérie.

- **Bourgoies s., 2010.** – la Luzerne, reine des fourageres. Reussir bovins viande Rev. TCF n 167.
- **Bouteyre G. et Loyer J.Y., 1992.** Sols salés , eaux saumâtres des régions arides tropicales et méditerranéennes , principaux faciès pour l'agriculture . ORSTOM , 69-80 .
- **Brady N.C and Weil R.R. , 2002** - The nature and properties of soils . 13th edn . Prentice Hall , Upper saddle river , NJ . , USA .
- **Brun A., 1980** – effets comparé de différentes concentrations de NaCl sur la germination, la croissance de quelques populations de luzerne annuelles d'Algérie. Thèse de doctorat. Montpellier.
- **Calvet R. , 2003.** Le sol , propriété et fonction , phénomènes physiques et chimiques . Tome 2. Ed . France . Agricole : 511 P.
- **Camille, M. (1980).** Fourrage. Ed, La maison. rustique. Paris. 302 p.
- **Chaabena A. et Abdelguerfi A., 2007.** -Aperçu sur les cultures fourragères au Sahara septentrional est.in Annales de la Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur. Vol. 1 N° 2/ 2007. UKMO.
- **Chaabena A., 2001.** Situation des cultures fourragères dans le sud septentrional du Sahara algérien et caractérisation de quelques variétés introduites et populations sahariennes de luzerne cultivée, thèse Magister en sciences agronomique, Institut. National Agronomique, EL-HARACH, p 124.
- **Chadli R et Belkhodja M., 2007.** – réponses minérales chez la fève (*vicia faba* L.) au stress Sali ; european journal of scientificresearch Vol.18 N° 4,645-654.
- **Chapin F.S., 1991.** Integrated responses of plants to stress. A centralized system of physiological responses, BioScience, 40, 29-31.
- **Chaves M. Flexas J, Pinheiro C., 2009.** Photosynthesis under drought and salt stress : regulation mechanisms from whole plant to cell, Annals of Botany, 103(4), 551-560.
- **Childers, W.R., (2008)** Encyclopédie Canadienne (<http://www.thecanadianencyclopedia.com>).
- **Choukr Allah R, Malcom CV, Hamdy A. 1997** - Halophytes and Biosaline Agriculture..NewYork : Marcel Dekker, 400 p.

- **Christian, K.R., (1977)** Effects of environment on the growth of alfalfa. *Advances in Agronomy*, 29, pp: 183-219.
- **Claussen. K., Luthen H., Blati M., Bottger M., 1997** : - Auxin induces growth and its linkage to potassium channels. *Planta* 201 : 227-234.
- **Colebrook E.H., Thomas G., Phillips A.L., Hedden P. 2014.** – the role of gibberellin signaling in plant responses to abiotic stress. *Journal of experimental biology.*, 217: 67-75.
- **Daoud, Y., & Halitim, A. (1994).** Irrigation et salinisation au Sahara algérien.
- **debouba M., Gouia H et Ghorbel MH., 2006.** – NaCl effects, growth, ions and water status of tomato (*Lycopersicon esculentum*) seedlings. *Acta Botanica Gallica*; 153: p 297-307.
- **Djili K. Daoud Y , Ayache N , 1999.** Analyse de la distribution verticale et spatiale du calcaire dans les sols de l'Algérie Septentrionale . *Etude et gestion des sols* , 6. 3.pp : 201-213 .
- **Dudal (R.) , 1990.-** An International Reference Base for soil Classification (IRB) . *Transactions ISSS of com . V. Kyoto .:* 38-42 .
- **Durand J.H , 1983.** Les sols irrigables , Agence de coopération culturelle et technique . P.U. France , 190 p .
- **Eilers RG . , Eilers wd and lelyk A. , 1995-** salinité des sols . *Sécheresse* ed John Libbey Eurotext , Canada ; p 23-33 .
- **Essington M.E. , 2004** - Soil and water chemistry , an integrative approach . CRC Press , USA , challenges and opportunities. *Trends Plant Sci. , 12(10)*.
- **F.A.O , 2008.** Annuaire statistique de la FAO .
- **Fisarakis I., Chartzoulakis K., Stavrakas D. (2001)** Response of Sultana vines (*V. vinifera* L.) on six rootstocks to NaCl salinity exposure and recovery. *Agricultural Water Management* 51:13-27.
- **Foolad M.R et Ashraf M. 2007:** roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and experimental botany.* 59:206-216.
- **Foury A., 1954.** Les légumineuses fourragères au Maroc, RABAT (service de la recherche agronomique).

- **Foyer, C.H., et Noctor, G. 2000.-** Oxygen processing in photosynthesis: a molecular approach. *New Phytol.* 146 : 359–388.
- Genoux C, Putzola F, Maurin G. 1991: Thème général: la lagune méditerranéenne, TPE: Les plantes halophytes.
- **Ghediri O., 2007.** Effet de stress hydrique sur quelques paramètres phénologiques de la luzerne (*Medicago sativa* L.) mémoire d'ING en biologie, UKMO.
- **Ghoulam C., Foursy A., Fares K. 2002-** Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugarbeet cultivars. *Environmental and Experimental Botany* 47:39-50.
- **Girard P., Prost J., Bassereau P., 2005.** Passive or Active Fluctuations in Membranes Containing . *Proteins Phys . Rev. Lett .* 94 : 60-64 .
- **Glenn, E., Brown, J.J., et Blumwald, E . 1999.** Salt-tolerant mechanisms and crop potential of halophytes. *Crit. Rev. Plant. Sci.* 18(2) : 227 –255.
- **Gramer G.R., Quarrie S.A., (2002).** – Abscisic acid is correlated with the leaf growth inhibition of four genotypes of maize differing in their responses to salinity. *Functional plant biology.*, 29: 111-115.
- **Greenway H, Munus R., 1980.** – Mechanisms of salt tolerance in non halophyte. *Ann. Rev. plant physiol.* (31): 149-190.
- **Gregory B. , 2005** - Écophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique thèse de mémoire université Laval Canada .chapitre 1 .
- **Grouzis M., Berger A., Heim G., 1976** – polymorphisme et germination des graines chez trois espèces annuelles de genre *Salicornia*. *Oecol. Plant.* 11(1) : 41-52.
- **H.-D. Klein, G. Rippstein, J. Huguenin, B. Toutain, H. Guerin, D. Louppe 2014.** Les cultures fourragères .
- **Halitim A , 1988.** Sols des régions arides d'Algérie . OPU , Alger , 384 p
- **Halitim A. , 1986-** Projet du programme de recherche sur l'utilisation du rejet de l'industrie phosphatière en agriculture . *Polycopies* 35p .
- **Hamdi A , 1999.** Saline irrigation and management for sustainable use In : *Advanced Short Course on saline irrigation Proceeding , Agadir.*152-227 .

- **Hamoud, N. (2012).** Effet du stress salin sur la croissance et la physiologie de la féverole (*Vicia faba* L.). *these Magister en sciences Agronomiques ,Ecole National Superieure Agronomiques* , 1-59.
- Haouala F., ferjani H et Ben el hadj S. 2007. Effet de la salinité sur learepartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore Cl⁻ dans les parties aériennes et les raciness du ray grass anglais et du chiendent. *Biotechnology, agronomy , society and environnement*. 11 (3) :235-244.
- **Hare P.D., Cress W. A., Van Staden J. 1998.** – dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant, Cell and Environment*. 21: 535-553.
- **Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K., Bohnert H.J., 2000.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Biology and Molecular Biology*, 51: 463-499.
- **Hechenberger, M., Schwappach, B., Fischer, W. N., Frommer, W. B., Jentsch, T. J., & Steinmeyer, K. (1996).** A family of putative chloride channels from Arabidopsis and functional complementation of a yeast strain with a CLC gene disruption. *Journal of Biological Chemistry*, 271(52), 33632-33638.
- **Hnatyszyn, M. et Guais, A. (1988).** - Les fourrages et l'éleveur. *Agriculture d'aujourd'hui*. Science- techniques et application. 450 p.
- **Ho S. L., Chao Y.C., Chandrasekhar T.,2014.** In vitro regeneration of green gram (*Vigna radiate* L)Wilczek) cultivar vamban-2 usin cotyledonary nodes. *Journal of biotechnology*, 3(4), 11-15.
- **Hopkins W G. 2003:** *Physiologie végétale*. 2 éme édition. De Boek, Bruscelles : pp61-476.
- **Hubac C. et Guerrier D., 1972-**Etude de la composition en acide aminés des deux carex ;le carex stenophylla wahl., tres resistant a la sechresse et le carex setifolia godion, peu resostant. Effet d'un apport de ^proline exogene,. *Oeco.plant*.(72)147-165.
- **Huber S.C et Kaiser W.M., 1996.** -5.Aminoimidazole-4-carboxiamide riboside activates nitrate reductase in darkened spinach and pea leaves. *Physiol. Plant*; 98: p 833-837.

- **I.T.G.C (1972)**. Synthèse des données climatiques de la station expérimentale de Ain- El-Hadjar. Rapport technique. Staoueli.
- **INRA , 1987**. Les cultures hors sol . 2ème éd . , Paris , 409 p .
- **INSID , 2005**. Problématique de la salinité dans le périmètre irrigué du Bas Cheliff : Besoins en formation , en recherche - développement et en transferts de technologies . 25 p.
- **ITCF (1999)**. - La culture de la luzerne. ITCF, Paris. 25 p.
- **Iyengar E., Reddy M. (1996)** -Photosynthesis in highly salt tolerant plants. Handbook of photosynthesis. Marshal Dekar, Baten Rose, USA pp: 897-909.
- **Janati A.,1990**. –les cultures fourrageres dans les oasis. CIHEAM-Option méditerranéennes, ser.A/ n°11 p3.
- **Jia W., Wang H., Zhang CH., Zhang J.,2002**. – stress salt-induced ABA
- **Kanwar J. S., 1982**.- Managing soil ressources to meet the challenges to mankind Presidential address . 12 th Intern . Congress of Soil Science , New Delhi .
- **Kao R. K., Jaiswal W., Kolch., Landreth G.E., 2001**. Identification of the mechanisms regulating the differential activation of the mapk cascade by epidermal growth factor and nerve growth factor in pc12 cells. J. Biol. Chem, 276: 18169–18177.
- **Kenfaoui . A. , 1997** - La salinité des eaux d'irrigation Synthèse bibliographique réalisé par les élèves ingénieurs de l'école nationale du génie rural des eaux et des forets de Montpellier .
- **Kurban H.H., Saneoka K., Nehira R., Adila G.S., Premachandra and K. Fujita., 1999**. Effectvof salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant alhagi pseudoalhagi (bieb.). Soil Sci. Plant Nutr, 45: 851–862.
- **Lalercj.c., 1999**- Ecophysiologie végétale. Publication de l'université de saint etienne. 277pages.
- **Lapeyronie, A., 1982**. Les productions fourragères méditerranéennes. Ed. G-P. Maisonneuve et Larousse. Paris. 425 p.
- **Laredj-Zazou, R. (2013)**. Effet de la salinité sur le comportement hydrique et minérale du Haricot (*Phaseolus Vulgaris L*). Oran, These de magister, Algerie.

- **Lazrek F.** 2008. -analyse de la diversité génétique et symbiotique des populations naturelles tunisiennes de *Medicagoruncatula* et recherche de QTL lié au stress salin, 98.
- **Levy G.J. , 2000-** Sodicity . In : Sumner M.E. (Ed) . Handbook of Soil Science . CRC Press .
- **Maas E.V. 1993.** – testing crops for salinity tolerance. Proc. working on adaptation of plant to soil stresses. 234-247.
- **Maas E.V. et Hoffman G.J. 1977.** – Crop tolerance-current assessment. Journal of irrigation and drainage division. ASCE. 103 : 115-134.
- **Mahajan S. et Tuteja N. 2005.**- cold, salinity and drought stresses : an overview . archives of biochemistry and biophysics. 444: 139-158.
- **Manchanda G et Garg N. 2008.** – salinity and its effect on functional biology of legumes. Acta physiologiae plantarum. 30: 595-618.
- **Marschner H., 1995.** Mineral nutrition of high plants. 2nd ed. Academic Press, San Diego, CA, 423 p.
- **Mashali A. , Suarez D.L. , Nabhan.H and Rabindra R. , 2005** - Integrated management for sustainable use of salt -affected soils Rome : FAO soils Bulletin , now printing .
- **Mauries M., 1994.** La luzerne aujourd'hui vaches laitières, vaches allaitantes, brebis, chevaux, chèvres. Ed. France Agricole. Paris.
- **Maurières, M. (2003).** Luzerne culture, récolte, conservation, utilisation. Ed. France Agricole. P 11.
- **Meloni D.A., Oliva M.A., Ruiz H.A. et Martinez C.A., 2001** -contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. Journal plant nutrition, 24: p599-612.
- **Mermoud, A. (2006).** Cour de physique du sol. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- **Messioughi A., 2016.** Etude d'une plante foulière la luzerne *Medicago sativa*. L: importances phytochimiques, aspects thérapeutiques et essais microbiologiques. Thèse de doctorat. UBMA (université badji mokhtar Annaba). P 314

- **Michaud, R., Lehman, W. F., et Rumbauch, M. D., 1988.** World distribution and historical development. Dans : *Alfalfa and Alfalfa improvement*, Hanson, A. A., D. K. Barnes, et R. R. Hill eds., 25-91.
- **Mohammed M, shibli R, ajlouni M. et nimri L., 1998** -Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *Journal of plant nutrition*. 21(8) : 1667-1680.
- **Munns R. et Termaat A., 1986.** - Whole plant response to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 143-160.
- **Munns R., 2005.** – genes and salt tolerance : bringing them together. *Tansley review. New physiology*. 59 : 651-81.
- Munns R., Richard A.J. etlauchli A. 2006. Approches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of experimental botany*. 57(5) : 1025-1043. plants and salinity special issue.
- **Nabors M. 2008.** – biologie végétale : structure , fonctionnement, ecologie et biotechnologie, ed. pearson, paris, 614p.
- **Nishiyama R., Le D., watanabe Y., Matsui A., Tanaka M., Yamaguchi-shinozaki K., Tran L., 2012.** – transcription analyses of a salt tolerant cytokinin-deficient mutant reveal differential regulation of salt stress response by cytokinin deficiency. *Plos one.*, 7(2): e32124.
- **Niu X., Ressian R.A., Hasegawa P.M., Pardo J.M., 1995.** Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*, 109. 3: 735- 742.
- **Ober ES. Sharp RE., 1994.** -proline accumulation in maize(*Zae mays* L.). primary roots at low water potentials. I. requirement for increased levels of ABA. *Plant physiology* 105 : 918-987.
- **Omami N. , 2005** - Response of Amaranth to salinity stress. These of Ph.D. Horticulture. University of Pretoria . Chapter 1 : p 5-20 .
- **Parida, A., et Das, A. (2005).** - Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60, 324-349.

- **Perez-Alfocea F et Larher F., 1995.** –effects of phlorizin and pchloromercuribenzene sulfonic acid on sucrose and proline accumulation in detached tomato leaves submitted to NaCl and osmotic stresses. *J. plant physiol.*, 145: 367-373.
- **Pessaraki M., Huber J.T., Tucker T.C 1989.** - proteinsynthesis in greanbeansundersalt stress withtwonitrogen sources, *J. plant nutr* ; 12 : p 261-1377.
- **Petersson S., Johansson A., Kowalczyk M., Makoveychuk A., Wang J., Moritz T., Grebe M., Benfey P., Sandberg G., Ljung K., 2009.** –An auxin gradient and maximum in the Arabidopsis roots apex shown by high-resolution cell-specific analysis of IAA distribution and synthesis. *Plant cell.*, 21 : 1659-1668.
- **Popova O.V., ismailov S.F., Popova T.N., dietz K.J. and Golldack D.,2002.** –salt-induced expression of NADP-deendent isocitrate dehydrogenase and ferredoxin-dependent glutamate synthase in mesembryanthemum crstallium. *Planta*; 215 : p 906-913.
- **Qados, A. M. A. (2011).** Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10(1), 7-15.
- **Quezel, P. et Santa, S. (1962).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome 1. Ed. CNRS. Paris. 566 p.
- **Rejili, M., Vadel, M. A., Neffat, P. M. 2006** -Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 17(1), 65- 78.
- **Rhoades J.D., 1977.**- Potential for using saline agricul tural drainage water for irrigation . *Procedings of water management for Irrigation and Drainage* . ASCE / Reno , Nevada .
- **Robert M. , 1996.** Le sol interface dans l'environnement ressource pour le développement . Ed . Masson , Paris 96 p .
- **Roblin, M., 1969.** - L'alimentation en eau des plantes fourragères. *Fourrages*, 38 :30-40.
- **Rolland F., Baena-gonzalez E., Sheen J., 2006** –sugar sensing and signaling in plants: conserves and novel mechanisms, *annual review of plant biology*, 57, 675-709.
- **Romero-Aranda, R., Soria, T., &Cuartero, J., 2001** - Tomato plant-water uptake and plant-water relationshipsunder saline growth conditions. *Plant Science* , 160, 265-272.

- **Rosa M., Prado C., Podazza G., interdonato R., Gonzales J.A., Hilal M., Prado F.E., 2009.** - soluble sugars metabolism, sensing and abiotic stress, plant signaling and behavior, 4(5), 388-393.
- **Saidb, abdelmajid h, 2011** -effet du stress salin sur la germination de quelques especes du genre atriplex. Revu : nature et technologie. N° 05.
- **Saidi, J. (2004).** Influence de la phase saline sur les propriétés physiques des matériaux argileux du bas cheliff. These doctorat d'Etat en sciences Agronomiques.
- **Schut P. , 1996-** manuel acidity , salinity and solonetzic soil canola responseteso acidity , salinity and solonetzic soil ed john libbey eurentext Canada ; p 8-23 .
Sécheresse, 5(3), 151-160.
- **Selveira J.A.G., Melo A. R.B. et Oliveira J.T.A., 2001.** – salinity-induced effects on nitrogen qssimilation related to growth in cowpea plants. Environ. Exp. Bot; 46:p171.
- **Serano A., Gaxiola L., 1994** – tolerance à la salinité, transport ionique et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.). CIHEAM-Options Méditerranéenne. Pp.23-29.
- **SICA-FRANCE MA.S., 1990.** - Luzerne : conduite et diagnostic; Les cahiers techniques de France Maïs, Ed. Sica-France Mais S.A., Toulouse, p 28.
- **Sinskaya, E. N., 1950.** Flora of cultivated plants of the USSR. XIII Perennial Leguminous Plants. Part I. Medic, Sweetclover, Fenugreek. Sinskaya, E. N. eds., 659 p.
- **Soltner, D. (1999)** -Les grandes productions végétales, 19me édition. Sciences et techniques agricoles, p.464.
- **Stark J., Jarrel WM., 1980.** Salinity-induced modifications in the response of maize to water deficits. Agronomy J., 72, 745-748.
- **Sudhir, P. R., Pogoryelov, D., Kovacs, L., Garab, G., & Murthy, S. D. (2005).** The effects of salt stress on photosynthetic electron transport and thylakoid membrane proteins in the cyanobacterium *Spirulina platensis*. *BMB Reports*, 38(4), 481-485.
- **Szabolcs I. , 1989.** Salt - affected Soils CRC Press Inc. , Florida , 274 p .
- **Talamucci, P., 1994.** Lucerne role in farming systems, technical itineraries and managements for different uses in diverse physical and socio-economic environments.

Dans : Eucarpia/FAO Medicago Meeting : Culture, Exploitation et Sélection de la Luzerne Pérenne pour Différentes Utilisations, Lusignan (France), 4-8 septembre 1994.

- **Teakle, N. L., & Tyerman, S. D. (2010).** Mechanisms of Cl-transport contributing to salt tolerance. *Plant, cell & environment*, 33(4), 566-589.
- **Tester M., Davenport R. 2003.** – Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of botany*. 91 : 503-527.
- **Tester, M., & Davenport, R. (2003).** Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants.
- **Thomas, J., McElwain, E., & Bohnert, H. (1992).** Convergent induction of osmotic stress-responses: abscisic acid, cytokinin, and the effects of NaCl. *Plant Physiology*, 100, 416-423.
- **Torabi M, Mohd Ridzwan A. H., 2013.** -Physiological and biochemical responses of plants in saline environment. *Crop Biology and Agriculture in Harsh Environments-Roychowdhury, R. P* : 53.
- **U.S.S.L. , 1954.** Diagnostic and improvement of saline and alkali soils , US Department of Agriculture , Handbook n ° 60 , U. S. Gov. Print . Office , Washington DC , 159p .
- **Udomchalothorn T., S. Maneeprasobsuk, E. Bangyeekhun, P. Boon-Long, S. Chadchawan, 2009:** “The role of the bifunctional enzyme, fructose-6-phosphate-2-kinase/fructose-2,6-bisphosphatase, in carbon partitioning during salt stress and salt tolerance in Rice (*Oryza sativa* L.),”*Plant Science*, vol. 176, no. 3, pp. 334–341.
- **Vaidyanathan, R., Kuruvilla, S., & Thomas, G. (1999).** Characterization and expression pattern of an abscisic acid and osmotic stress responsive gene from rice. *Plant science (Limerick)*, 140, 21-30.
- **VALLES (V.) , 1985.** - Étude et modélisation du transferts d'eau et de sels dans un sol argileux . Application au calcul des doses d'irrigation . Th . INAP , Toulouse . N ° 15 , 150 p .
- **Van der Moezel, P. G., Watson, L., Pearce-Pinto, G. V., & Bell, D. T.,1989** - Gas exchange responses of two Eucalyptus species to salinity and waterlogging. *TreePhysiology* , 5, 251-257.

- **Viegas R.A. et Silveira J.A., 1999.** Ammonia assimilation and proline accumulation in young cashew plants during long term exposure to salt-salinity. *Revista brasileira de fisiologia vegetal*, 3(11):153-159.
- **Villax, J. (1963)** La culture des plantes fourragères dans les régions méditerranéennes occidentales. INRA, Rabat, 358 p.
- **Wang W., Vinocur B. altman A. 2003.** – plant responses to drought, salinity and external temperature : towards genetic engineering for stress tolerance. *planta*. 218 : 1-14.
- **WRI , 2002.** Drylands , people , and ecosystem goods and services : a web - based geospatial analysis .
- **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.
- **Xiong l. et Zhu j.k. , 2002.-** salt tolerance . the Arabidopsis book. American society of plant biologists. 1-24.
- **Yamaguchi, T., & Blumwald, E. (2005).** Developing salt-tolerant crop plants:
- Zhang, H., Hodson, J., Williams, J., & 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 j. k., 2007.-** plant salt stress. *Encyclopedia of life sciences*. John Wiley et sons . 1-3.
- **Zhu JK., 2001** - Salt tolerance. *Trends plant sci* ; 6p 66-71.
- **Zhu JK., 2001** : salt tolerance. *Trends plant sci* ; 6p 66-71
- **Zid et grigon ., 1991.** – les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELEF-UREF. John Libbey eurotext. 91-108.

ANNEXES

Annexe 01 : protocole expérimental du dosage de proline

- préparation du courbe d'étalonnage de proline.

Préparation de la solution mère de proline S_1

20mg de proline sont mis dans une fiole jaugée de 100 ml sur lequel on verse du méthanol à 40% jusqu'à atteindre 100ml.

Préparation de la solution mère S_2

-10ml de la solution mère S_1 est porté dans une nouvelle fiole jaugée de 100ml, on ajuste à 100ml avec du méthanol 40%, on obtient une solution S_2 de 20ug/ml de proline.

-10fioles jaugées de capacité 10ml sont prises et numérotées de 1 à 10.

- on porte dans chacune d'elle 1à10ml de la solution S_2 , puis chacune est ajusté à 10ml avec du méthanol 40%.

-ensuite 11 tubes à essai sont numérotés de T0à T10 dont chacun contiendra : T0=1ml du méthanol qui servira à faire le zéro à la lecture de la DO.

T1=1ml prélevé de la fiole n°1, 2ug de proline

T2=1ml prélevé de la fiole n° 2, 4ug de proline

T3=1ml prélevé de la fiole n° 3, 6ug de proline

T4=1ml prélevé de la fiole n° 4, 8ug de proline

T5=1ml prélevé de la fiole n° 5, 10ug de proline

T6=1ml prélevé de la fiole n° 6, 12ug de proline

T7=1ml prélevé de la fiole n° 7, 14ug de proline

T8=1ml prélevé de la fiole n° 8, 16ug de proline

T9=1ml prélevé de la fiole n°9, 18ug de proline

T10=1ml prélevé de la fiole n°10, 20ug de proline.

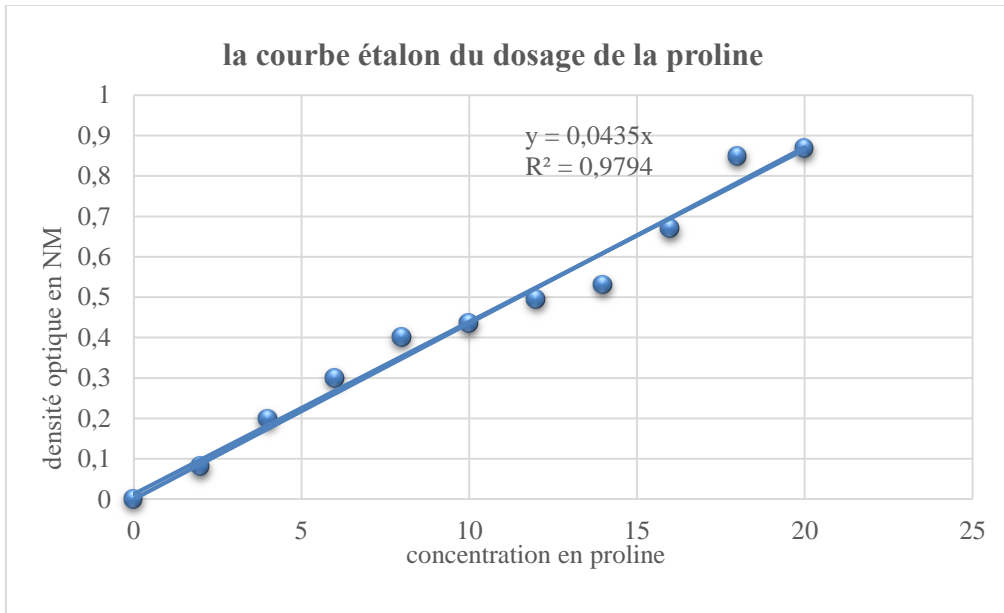


Figure 01 : la Courbe étalon du dosage de la proline.

Figure 01: courbe d'étalonnage de proline.

-préparation du réactif de proline.

On mélange dans une bouteille en verre :

300ml d'acide acétique

80 ml d'acide ortho phosphorique D=1.7

120ml d'eau distillée

} *solution A*

Soit n le nombre de tube à dosé(extraits et étalons)

On met dans un bécher

(n+4)25mg de ninhydrine

(n+4) ml de la solution A

(n+4) ml de la solution A

solution B → Agiter

(n+4) ml d'acide acétique

Annexe 02: protocole expérimental du dosage des sucres solubles

-préparation du réactif du sucres solubles

Il est préparé 4 heures avant le dosage et se garde au frais

Il est constitué de de 0.2g d'anthrone pure dissout dans un litre de H₂SO₄.

préparation du courbe d'étalonnage d u sucres totaux

-Préparation de la solution mère S1

100mg de glucose sont portés dans une fiole jaugée de 100ml complétée à 100ml avec de l'éthanol 80%, on obtient une solution mère S2 de concentration en glucose égale à 100mg/ml .

10 fioles jaugées de capacité de 10ml sont prises et numérotées de 1 à 10, dans lesquelles on met respectivement de 1ml à 10ml (à l'aide d'une pipette de 10ml) puis ajustées à 10ml avec de l'éthanol 80%

11 tubes à essai sont numérotés de T0 à T10

T0 contient 2ml éthanol 8% qui servira à faire le zéro lors de la lecture des densités optiques

T1= 2ml prélevée de la fiole n°1, soit 10µg de glucose

T2= 2ml prélevée de la fiole n°2, soit 20µg de glucose

T3= 2ml prélevée de la fiole n°3, soit 30µg de glucose

T4= 2ml prélevée de la fiole n°4, soit 40µg de glucose

T5= 2ml prélevée de la fiole n°5, soit 50µg de glucose

T6= 2ml prélevée de la fiole n°6, soit 60µg de glucose

T7= 2ml prélevée de la fiole n°7, soit 70µg de glucose

T8= 2ml prélevée de la fiole n°8, soit 80µg de glucose

T9= 2ml prélevée de la fiole n°9, soit 90µg de glucose

T10= 2ml prélevée de la fiole n°10, soit 100µg de glucose

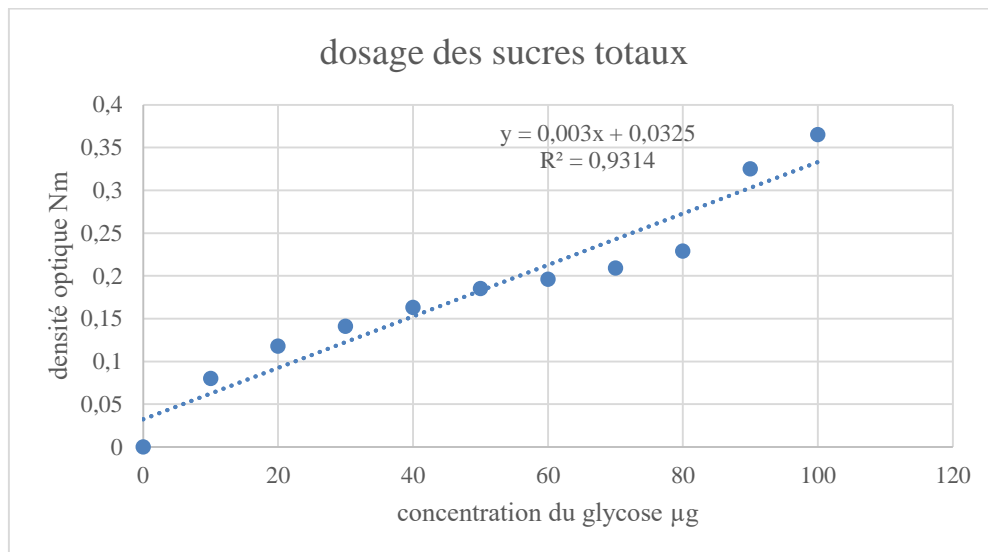


Figure 02 : Le courbe étalon du dosage des sucres totaux..

Résumé

Réponses éco-physiologiques chez deux populations de *Medicago sativa*

Les paramètres éco-physiologiques en réponses à la salinité ont été analysés chez deux variétés de luzerne : Speed et Siriver, durant 03 semaines de stress, avec différentes concentration salines (0mM, 50mM, 150mM, 200Mm NaCl). L'effet du stress salin sur les paramètres morphologiques s'est traduit par une stimulation nette de la croissance caulinaire chez la variété Speed avec un taux d'augmentation de 123% pour la valeur la plus élevée (6.62cm) induite par les deux niveaux 50 et 150mM NaCl, néanmoins chez la variété Siriver la croissance en longueur est inversement proportionnelle à la sévérité du stress. Pour la croissance racinaire les deux variétés expriment le même comportement avec une nette stimulation des racines en présence du NaCl dans le milieu racinaire. L'influence de la salinité sur le nombre de feuilles n'a pas été révélée chez les deux variétés testées. Pour le poids frais de la partie aérienne l'application du traitement 50mM en Nacl à induit une augmentation significative chez Speed à l'opposé une diminution s'est affichée chez Siriver. Aucune influence de la salinité n'a été induite pour le poids frais des racines, ceux-ci est valable pour les deux variétés. L'accumulation de la proline a été très intense chez speed avec un taux d'augmentation de 187% et 322% chez les traitements 50mM et 150Mm NaCl respectivement, alors elle a été graduelle et moins importante chez Sriver, pour l'accumulation des sucres totaux, la variété Siriver enregistre des teneurs plus élevées on la comparant à la variété Speed.

Mots clés : salinité, *Medicago sativa*, Speed, Siriver, morphologie, proline, sucres totaux.

ملخص

الاستجابات الايكوفيزيولوجية عند صنفين من الفصة. لقد تم تحليل المعايير الايكوفيزيولوجية استجابة للملوحة عند صنفين من الفصة السبيد والسيريڤير، تحت اجهاد ملحي لمدة ثلاث أسابيع التراكيز المستعملة هي 0،50،150،200 ميلي مول من كلور الصوديوم، نتائج المعايير المورفولوجية تحت الاجهاد الملحي بينت تحفيز نمو الساق لدى صنف السبيد على عكس صنف السيريڤير الذي تناقص نمو الساق لدية بزيادة تركيز الملح في الوسط بالنسبة لنمو الجذور أظهر الصنفان نفس السلوك وذلك بتحفز النمو بوجود الملوحة في الوسط الجذري، لم يتأثر عدد الأوراق بالملوحة عند صنف الفصة، وزن الجزء الخضري يزداد عند تركيز 50ميلي مول عند السبيد بينما تناقص عند صنف السيريڤير، اما الجزء الجذري فلم يتأثر بوجود الملوحة وذلك عند الصنفين معاً، تراكم البرولين بشدة عند الصنف سبيد بنسبة 187% و 322% عند مستوى الاجهاد 50 و 150 ميلي مول، اما عند صنف السيريڤير فقد كان التزايد تدريجي وبطيء. بالنسبة لتراكم السكريات فقد أظهر صنف السيريڤير تراكم أكبر مقارنة بصنف السبيد.

الكلمات المفتاحية: الملوحة، الفصة، سبيد، سيريڤير، مورفولوجيا، برولين، سكريات.

Abstract

The ecophysiological parameters in response to salinity were investigated in two varieties of *Medicago saliva* L: Speed and Siriver, during 03weeks of stress, applied by different concentration of NaCl (0, 50, 150, 200mM). The effect of salt stress on morphological parameters resulted by distinct stimulation of stem growth in the Speed variety with a rate of increase estimated at 123% for the highest value (6.62cm), induced by the two levels 50 and 150 mM NaCl, however in the Siriver variety the stem growth is inversely proportional to the severity of the stress. For root growth, the two varieties exhibited the same behavior, with a net stimulation of the roots in the presence of NaCl in the root medium. The influence of salinity on the number of leaves was not revealed in the two varieties tested. For the fresh weight of the aerial part, the application of the 50 mM Nacl treatment induced a significant increase in Speed, while decreased in Siriver. The fresh weight of root is not affected by salinity with same behavior for both varieties. The proline accumulation was intense in Speed variety with a rate increasing estimated at 187% and 322% in the 50mM and 150Mm NaCl treatments respectively, so it was gradual and less important at Siriver. The sugar content was more accumulated in Siriver variety than Speed.

Keywords: salinity, *Medicago saliva*, Speed, Siriver, morphology, proline, sugar content.