

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche**  
**Scientifique**  
**Université 8 Mai 1945 Guelma**  
**Faculté de Sciences de la Nature et de Vie et de Sciences de la Terre et de**  
**l'Univers**



## **Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de** **Master**

**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**

**Filière : Sciences Agronomique**

**Spécialité/Option: Phytopharmacie et protection des végétaux**

**Département: Ecologie et Génie de l'Environnement**

### **Thème :**

**Effet du traitement salin sur la germination, la**  
**croissance et sur la nodulation de la lentille (*Lens***  
***culinaris* Medik)**

**Mme Présenté par :**

- Amairia Widad
- Himoud Ilhem
- Lamri Djouhaina

**Devant le jury composé de :**

<b>Président:</b>	<b>Mme. Ben belkacem S. (MAA)</b>	<b>Université de Guelma</b>
<b>Examineur :</b>	<b>Mr. Zitouni A. (MCB)</b>	<b>Université de Guelma</b>
<b>Encadreur :</b>	<b>Mme. Chahat N. (MCB)</b>	<b>Université de Guelma</b>

**Septembre 2020**

## Remerciements

*Tous nos remerciements vont d'abord à notre Grand Dieu Allah, le tout puissant, pour nous avoir donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.*

*Nous tenons à remercier notre encadreuse **CHAHAT NORA**, pour ses conseils, son aide, ses encouragements et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail et lors de la rédaction du manuscrit et la préparation de l'exposé.*

*Nous exprimons notre profond remerciement à Mme **BEN BELKACEM SOFIA** de l'université 08 Mai 1945 de Guelma pour avoir accepté de présider le jury de ce mémoire et à Monsieur **ZITOUNI ALI** de l'université 08 Mai 1945 de Guelma, d'avoir accepté de juger ce travail et pour son aide précieux dans le traitement statistique.*

*Sans oublier bien sûr les ingénieurs des laboratoires de la faculté SNVSTU qui ont mis à notre disposition les produits et le matériel nécessaire pour la réalisation de ce travail.*

*Enfin, Nos remerciements vont également à toutes et tous les étudiants de ma promotion et je leur souhaite une bonne continuation dans les études doctorales. Et toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

- *A Mon père «Abdelhamid »*
- *A Ma mère «Djamila »*
- *A Ma sœur «Sara »*
- *A Mon frère «yasser »*
- *A Toute ma famille Amairia.*
- *A mes collègues jouhaina et ilhem.*

*WIDAD*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

- *À ma mère pour son amour et ses encouragements pendant toute ma vie.*
- *À mon Père pour avoir toujours cru en moi et pour ses nombreux sacrifices.*
- *À mon cher fiancé : KHALED.*
- *À mes adorables frères: walid, wahid, mahdi et samir.*
- *À mes belles sœurs : meriem, manel et hadil.*
- *À les petits de la famille: maram, ayoub, lilyen, jana.*
- *Les plus importants, les membres de ma famille, Himoud et Boulassel.*
- *À mes chers amis, et je voudrais mentionner : Radia et meriem.*
- *À mes collègues widad et jouhaina.*

*ILHEM*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

- *A l'homme de courage et de force, à celui qui a toujours été présent, qui m'a appris les vraies valeurs de la vie à celui qui m'a soutenu en toutes circonstances, mon père SALEH.*
- *A la femme la plus courageuse, sensible, à celle qui a su me donner amour et joie de vivre, à celle qui a toujours montrée affection et compréhension à mon égard, ma mère AZIZA.*

*J'espère qu'un jour, je pourrai leur rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi ; que dieu leur porte bonheur et longue vie*

- *A mon fiancé ISLEM*

*Par sa compréhension, sa sollicitude et ses critiques a soutenu mes efforts et fait avancer cette étude. Ce travail existe grâce à ses encouragements.*

- *A mes très chères frères HAMZA et, IMED et mes sœurs AMEL, SAFA, NAIMA Qui m'ont fourni du courage, du soutien, et tous leurs efforts et moyens pour que je termine mes études.*

- *A mes petites enfants :*

*OMAR, HOUDAIFA, MOUATH, RAHEF, MOUHAMED.*

- *A toute ma belle-famille LAMRI.*

- *A mes collègues ILHEM et WIDAD que je remercie pour leur ponctualité, ainsi que leur volonté tout au long de la réalisation de ce travail.*

- *A mes amis les plus fidèles :*

*KHAWLA, MOUNA, CHAHIHINAZ, HADDA, NEDJOU, MARWA, HIBA, BAHDJIA ET MANEL.*

- *A tous ceux que j'aime, à tous ceux qui m'aiment.*

***DJOUHAINA***

## Résumé

La salinisation des sols est un processus majeur de dégradation des sols dans le monde, ce qui affecte négativement la productivité agricole.

Ce travail consiste à étudier l'influence d'une contrainte saline représentée par différentes concentrations de NaCl (0, 50, 100, 150 et 200mM) chez la lentille cultivée (*Lens culinaris Medik*). Dans cet intérêt et dans le but de comparer la sensibilité au sel chez deux variétés de lentille, nous avons effectué des tests de germinations et de croissance qui sont réalisés sur SYRIE 229 et NEL-45.

Les essais de germinations ont été réalisés dans des boîtes de pétri au niveau de laboratoire de la faculté. Les résultats ont montré que le stress salin réduit le pourcentage de germination chez les deux variétés de lentille étudiées. Cependant, une différence variétale à la réponse au stress salin a été enregistrée et la variété NEL-45 se montre la plus affectée par le stress salin.

L'essai de croissance a été réalisé sous une serre en plastique en conditions semi contrôlées. Nos résultats obtenus montrent que le stress salin réduit les paramètres de croissance (hauteur des plantes, longueur de la racine principale, surface foliaire, nombre de feuilles) chez les deux variétés. De même nous avons constaté que la fixation symbiotique azotée est également affectée par réduction du nombre de nodules par plant par rapport aux témoins.

En effet, L'ensemble des données obtenues montre que les deux variétés étudiées sont affectées négativement par l'application de doses croissantes de NaCl et la variété SYRIE 229 s'est montrée la plus tolérante au stress salin par comparaison à l'autre variété, avec des taux de réduction moins réduits.

**Mots clés:** Stress salin, Lentille (*Lens culinaris Medik.*), tolérance, croissance, germination, nodulation.

## **Abstract**

Around the world, soil salinity considered as an important factor that leads to soil degradation. Thus, it effects growth and germination.

The aim of this work is to reveal the influence of a salt stress represented by different concentration of Back (0, 50,100, 150 and 200 mM). And in order to determine the negative effect of salt stress and compare between the salt sensitivity of plants Experiments were conducted for germination inside Petri cans and growing in pots, depending on the standards of seed germination and growth of plants.

Our results shows that salt stress reduce the factors of growth and production (plant height, root length, leaf space, the number of leaves and nodules).

The saline treatment affected negatively the symbiotic nitrogen fixation through the lentil-rhizobium bond by reducing this rate in stressed plants in more concentrated environment compared to control in addition to reduce the number of noodles at the root level.

The final obtained data show that saline stress reduce the germination and growth rates in both cultivars, But at the same time. A different response to saline stress was recorded and it showed that class SYRIE 299 was more resistant than class NEL-45 with lower reduction rates.

### **Key words**

Salt stress, lentil, adaptation, growth, germination, nodulation.

## ملخص

تعتبر ملوحة التربة من اهم العوامل الرئيسية لتدهور التربة مما يحد من نمو النباتات و تطورها. يهدف هذا العمل للكشف على مدى تأثير الاجهاد الملحي على صنفين من العدس ( *Lens culinaris Medik*) معاملة بتراكيز متزايدة من كلوريد الصوديوم (0، 50، 100، 150 و 200 ملي مولار) من اجل تحديد الاثر السلبي للإجهاد الملحي على انبات ونمو نبات العدس و مقارنة درجة تحمل الملوحة عند الاصناف المدروسة. لأجل اتمام هذا العمل، تم اجراء تجارب للإنبات داخل علب بيتري والنمو داخل أصص معتمدين في ذلك على معايير الانبات للبذور والنمو للنباتات. تظهر نتائجنا أن الإجهاد الملحي يقلل من نسبة انبات البذور عند كلا الصنفين، الا انه تم تسجيل اختلاف في الاستجابة للإجهاد الملحي بين الصنفين حيث يظهر الصنف NEL-45 نوعا من الحساسية بالمقارنة مع الصنف SYRIE 299 تظهر نتائج النمو ان الإجهاد الملحي اثر سلبا على المعايير المدروسة (ارتفاع النبات ، طول الجذر ، مساحة الورقة ، عدد الأوراق ، عدد العقد الجذرية) ويزداد التأثير كلما زاد تركيز الملح في الوسط حيث اظهر الصنف SYRIE 299 نوعا من المقاومة اتجاه الملوحة مقارنة بالصنف NEL-45 كما يبدو ان المعالجة الملحية أثرت سلبا ايضا على تثبيت النيتروجين التكافلي عند نبات العدس من خلال تأثيرها على عدد العقد الجذرية عند النباتات المجردة مقارنة بالشاهد. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن الاجهاد الملحي قلل من نسبة الانبات و النمو في كلا الصنفين مع تسجيل اختلاف في الاستجابة للإجهاد الملحي ، حيث أظهر الصنف SYRIE 299 نوعا من المقاومة مقارنة بالصنف NEL-45 الذي اظهر نوعا من الحساسية اتجاه الملوحة .

**الكلمات المفتاحية:** الاجهاد الملحي ، عدس (*Lens culinaris Medik*) ، التكيف ، النمو ، الانبات ، نمو الانبات ، العقد الجذرية .



# **Sommaire**

*Liste des abréviations*

*Liste des tableaux*

*Liste des figures*

**Introduction**.....01

## ***Chapitre I: Données bibliographiques sur la lentille***

1. Origine et historique de lentille .....03

2. Les caractères morphologiques de la plante.....04

2.1. Système racinaire.....04

2.2. Tige et les feuille.....04

2.3. Fleurs et fruits .....05

3. Classification botanique de lentille.....06

3.1. Les types de lentille.....06

4. Les types des graines de lentille .....07

5. Cycle de développent de la lentille.....08

6. Exigences pédoclimatiques.....09

6.1. L'eau .....09

6.2. Le sol .....09

6.3. La température.....09

7. Zones de cultures et de production de la lentille.....09

7.1. Au niveau mondial.....09

7.2. En Algérie.....10

8. Les avantage de culture de la lentille.....11

8.1. Intérêt économique.....11

8.2. Intérêt agronomique .....11

8.3. Intérêt scientifique.....12

8.4. Intérêt nutritionnel.....12

9. les ennemies de la lentille.....	14
9. 1 Les maladies cryptogamiques .....	14
9.2 Les ravageurs .....	17
9.3 Principales mauvaises herbes.....	19

***Chapitre II: Généralité sur la salinité***

1. Le stress chez les plantes.....	21
1.1. Définition du stress.....	21
1.2. Les différents types de stress.....	21
1. 2. 1. Le stress biotique.....	21
1.2.2. Le stress abiotique.....	21
2. La salinité des sols.....	22
2.1. Définition du sol salé.....	22
2.2. La salinisation des sols.....	22
2.3 Origine des sols salés.....	22
2.3.1. Origine primaire.....	22
2.3.2. Origine secondaire.....	23
2. 4. Classification des sols salins.....	23
3. Répartition des sols salés dans le monde et en Algérie.....	24
3.1. Dans le monde.....	24
3.2. En Algérie.....	25
4. Stress salin et ses effets sur les plantes.....	26
4.1. Définition.....	26
4.2. Effet de salinité sur les plantes.....	27
4.2.1. Sur La germination.....	27
4.2.2. Sur La croissance.....	28
4.2.3. Sur La photosynthèse.....	28
4.2.4. Sur Les rendements.....	29

4.2.5. Sur La morphologie des plantes.....	29
4.2.5.1. Sur La surface foliaire.....	29
4.2.5. 2. Sur La partie aérienne .....	30
4.2.5.3. Sur La partie racinaire.....	30
4.2.6. Sur Le métabolisme de l'azote.....	30
4.2.7. Sur L'eau dans la plante.....	31
4.3. Mécanisme de la Tolérance à la salinité.....	31
4.3.1. Séquestration du sodium dans des vacuoles .....	32
4.3.2. Prélèvement de K+.....	32
4.3.3. L'exclusion des ions.....	32
4.3.4. Biosynthèse d'osmoprotctants.....	32
4.3.5. Synthèse d'antioxydants.....	34
4.3.6. Régulation de croissance.....	34

### ***Chapitre III : Matériel et Méthodes***

1. L'objectif de l'essai.....	35
2. Présentation du site de l'essai.....	35
3. Matériel végétal.....	35
3.1. Semence de Lentille.....	35
3.2. Origine et caractéristiques des variétés.....	36
4. Solutions salées de l'NaCl.....	36
5. Installation et conduite de l'essai.....	36
5.1. Essai de germination.....	36
5.2. Essai de croissance.....	38
6. Caractéristique de substrat.....	39
7. L'irrigation.....	39
8. Paramètres étudiés.....	39
8.1. Paramètres relatifs à la germination des graines.....	39

8. 2. Paramètres relatifs à la croissance et le développement.....40  
9. Traitement statistique des résultats.....41

***Chapitre Iv : Résultats et Discussion***

1. Essai de germination dans les biotes de pétri.....42  
1.1. Pourcentage de germination des graines.....42  
2. Essai de croissance et de développement des plantes dans les pots.....43  
2.1 Hauteur des plantes .....43  
2.2. Nombre des feuilles.....44  
2.3 La longueur de la racine principale .....45  
2.4 La surface foliaire .....46  
3. Effet de stress salin sur le nombre de nodosités.....47

***Conclusion***

***Références bibliographiques***

***Annexes***

## **Liste des abréviations**

**%** : Pourcentage

**°C** : Degré Celsius

**Cl<sup>-</sup>** : Chlorure

**cm** : Centimètre

**Co<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone

**Co<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Carbonate

**g** : Gramme

**K<sup>+</sup>** : Potassium

**m** : Mètre

**Mg** : Manganèse

**Mg<sup>2+</sup>** : Magnesium

**mM** : Milli-molaire

**N** : Azote.

**Na<sup>+</sup>** : Sodium

**NaCl** : Chlorure de Sodi

**S** : Significative

**N.S** : Non Significative

## **Liste des tableaux**

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	Les grands producteurs de lentilles	<b>10</b>
<b>02</b>	Représente la valeur nutritionnelle moyenne de la lentille sèche : Pour 100g	<b>13</b>
<b>03</b>	les maladies cryptogamiques de la lentille en Algérie	<b>14</b>
<b>04</b>	Superficies affectées par la salinité dans le monde	<b>24</b>
<b>05</b>	L'origine et les caractéristiques de chaque variété	<b>36</b>

## Liste des figures

N°	Titre	Page
<b>01</b>	photo représente le système racinaire de la lentille <i>Lens culinaris</i> Medik	<b>04</b>
<b>02</b>	Tige et feuilles de la lentille ( <i>Lens culinaris</i> Medik)	<b>05</b>
<b>03</b>	Fleurs de la lentille ( <i>Lens culinaris</i> Medik)	<b>05</b>
<b>04</b>	Les fruits (les gousses) de la lentille	<b>06</b>
<b>05</b>	Présentation de quelques cultivars de lentille	<b>08</b>
<b>06</b>	Cycle biologie de lentilles : Graine, Germination, Croissance, Floraison, Fructification	<b>08</b>
<b>07</b>	Zones d'aptitude de la culture de la lentille en Algérie	<b>11</b>
<b>08</b>	Quelques maladies cryptogamiques de la lentille	<b>17</b>
<b>09</b>	Photo montrant le Criquet de lentille	<b>18</b>
<b>10</b>	Bruches de la lentille	<b>19</b>
<b>11</b>	Monocotylédones annuelles	<b>20</b>
<b>12</b>	Carte des zones arides dans le monde	<b>25</b>
<b>13</b>	Répartition des sols salins dans le Nord de l'Algérie	<b>26</b>
<b>14</b>	Représente les graines des variétés testées ( <i>Lens culinaris</i> Medik)	<b>35</b>
<b>15</b>	Description du dispositif expérimental de l'essai de germination dans les boites de petri	<b>37</b>
<b>16</b>	Essai de croissance dans les pots et sous serre	<b>38</b>
<b>17</b>	Description du dispositif expérimental de l'essai de croissance dans les pots et sous serre	<b>39</b>
<b>18</b>	Le taux de germination des deux variétés de la lentille cultivée soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	<b>43</b>
<b>19</b>	La hauteur de la plante (cm) des deux variétés de la lentille cultivée soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	<b>44</b>

<b>20</b>	Le nombre de feuilles des deux variétés de la lentille cultivée soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	<b>45</b>
<b>21</b>	La longueur de la racine (cm) des deux variétés de la lentille cultivée soumises aux différentes concentrations de NaCl (Mm°)	<b>46</b>
<b>22</b>	La surface foliaire (cm <sup>2</sup> ) des deux variétés de la lentille cultivée soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	<b>47</b>
<b>23</b>	Le nombre de nodules des deux variétés de lentille cultivé soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	<b>48</b>



# ***Introduction***

## **Introduction**

Les légumineuses sont des plantes dicotylédones appartenant à la famille des Fabacées, qui représentent la troisième famille de plantes par le nombre d'espèces (à savoir 18000 référencées) après les Composés (Asteraceae) et les Orchidées (**Schneider et al., 2015**). La particularité biologique des Légumineuses la plus connue est leur aptitude à s'associer à des bactéries du sol (Rhizobiacées), formant des nodosités ou nodules au sein desquels ces bactéries transforment l'azote atmosphérique en une forme assimilable par la plante, (**Mylyna et al., 1995**), ce qui leur permet de faire produire en abondances des protéines végétales même en l'absence de fertilisation azotée, d'où leur intérêt également dans le cadre d'une agriculture durable (réduction des intrants) (**Journet et al., 2001**).

En Algérie, la culture des légumineuses alimentaires fait depuis lors partie du paysage agricole. Cette culture a un intérêt national car leurs grains constituent une source protéique de qualité et à bas prix pour une large couche de la population. Ainsi, l'Etat souhaite développer la production afin de mieux satisfaire les besoins, de réduire les importations et de limiter la dépendance économique vis-à-vis de l'étranger [**1**].

Parmi les légumineuses les plus consommées au monde, citons la lentille cultivée, qui fait partie de l'alimentation humaine depuis la préhistoire (**Saskatchewan, 2000**). Il est également considéré parmi les légumineuses les plus riches en protéines végétales qui participent pleinement à la diversité alimentaire et peuvent être un bon substitut à la viande. Les lentilles apportent également un très grand nombre de minéraux dont nous manquons souvent dans l'alimentation trop industrielle. De même son haut taux de fibres aide à prévenir un bon nombre de maladies comme le diabète, l'hypertension et plusieurs cancers [**2**].

En région méditerranéenne, la salinité constitue une contrainte dans beaucoup de périmètres de grandes cultures où la qualité de l'eau joue un rôle majeur et où la recherche de plantes adaptées à des seuils élevés de salinité devient un impératif pour la production agricole. Le choix des variétés adaptées aux milieux salins nécessite la connaissance des mécanismes qui sont responsables de la tolérance du végétal à la salinité (**Daie, 1988**). Les régions arides et semi arides sont les plus touchées par le problème de salinisation d'où le phénomène de la sécheresse prolongée qui conduit à une baisse de productivité agricole.

Face à cette contrainte, la recherche d'espèces végétales tolérantes à la salinité est une stratégie alternative recommandée pour valoriser les sols touchés par ce phénomène (**Chérifi**

**et al., 2017).** Ce travail vise à étudier l'effet comparatif de l'augmentation des concentrations de NaCl sur la germination et la croissance de deux variétés de lentille (*Lens culinaris*. Medik.) cultivées en Algérie, à travers l'estimation du pourcentage de germination et les paramètres liés au développement des plantules, en vue de sélectionner la variété la plus adaptée aux environnements salins.

# Chapitre I

*Données bibliographiques sur la lentille*

## **1. Histoire et origine de la lentille**

Lens est un genre qui comprend six espèces de légumineuses annuelles parmi elles l'espèce des *Lens culinaris* l'une des plus anciennes plante vivrières (**Ulmann, 2005**). La lentille est probablement la première légumineuse domestiquée par l'homme; depuis sa domestication elle est cultivée en rotation avec les céréales et utilisée pour la nutrition humaine (**Muehlbauer et Tullu, 1997**). Dans l'antiquité la lentille faisait régulièrement partie de l'alimentation des Grecs, des Juifs et des Romains et c'était le plat de subsistance des pauvres en Egypte, grâce à la richesse de ses graines en protéines et d'autres micronutriments (**Grusak, 2009**)

Les plus anciens restes archéologiques de la lentille étaient retrouvés en Grèce et datées de 11 mille ans avant J.C, ainsi qu'en Syrie, datées de 8500 avant J.C., mais on ne savait pas bien s'il s'agissait de plantes sauvages ou cultivées .Ce n'est qu'à partir du 5ème millénaire avant J.C que l'on trouve des graines identifiées sans conteste comme domestiques (**Yunnus et Jackson , 1991**). Ses centres d'origine sont le Proche Orient et l'Asie de l'Ouest d'où elle s'étend aux différentes régions dans le monde. Elle est cultivée en Asie (Turquie, Inde et Syrie) et en Afrique (Ethiopie, Maroc). Elle est fortement cultivée en Amérique du Nord (Canada, Etats Unies). L'Australie est devenue un grand producteur depuis 1990 (**Erskine et al., 2009**). Elle est également cultivée dans d'autres pays de la Méditerranée et en Amérique Latine.

En Algérie, les variétés cultivées sont soit locales de mélanges variables ou d'origines Européenne. Plusieurs variétés ont été introduites et d'autres entre elles ont été sélectionnées en fonction de leur capacité d'adaptation aux différentes conditions agroclimatiques. Parmi les variétés cultivées on cite: La large blonde Métropole, la large blonde de Chili et la large verte d'Algérie, cette dernière a été la première des variétés européenne introduites en grandes cultures en Algérie. Dans certaines régions de culture de la lentille large blonde et verte de puy ont coexisté et des croisements naturels se sont produits qui ont donné naissance à la lentille large verte d'Algérie à partir de cette dernière, il y a une sélection et une amélioration de la lentille verte d'Algérie (**Vandenberg et Slinkard, 1990**).

## 2. Les Caractères Morphologiques de la plante

La lentille (*Lens culinaris*) est une légumineuse alimentaire annuelle, diploïde avec  $2n=14$  chromosomes autogame dont consomme la graine (Saskatchewan, 2000).

### 2.1. Le système racinaire

Ce système est composée d'une racine principale de type pivotant et de racines latérales (Fig. 01) portant les nodosités formées par les bactéries fixatrices de l'azote atmosphérique, les caractéristiques des racines comme la longueur de la racine principale et le nombre des racines latérales sont des traits de tolérance à la sécheresse. Le système racinaire pivotant de la lentille contribue à une meilleure exploitation de l'humidité du sol et à une bonne acquisition des éléments nutritifs dans les sols secs et pauvres (Gahoonia et al., 2005).



Figure 01: photo représente le système racinaire de la lentille (*Lens culinaris* Medik) [3]

### 2.2. Tiges et feuilles

La tige de la lentille est mince, atteints rarement plus de 45 cm de hauteur et à une croissance indéfinie, les deux premiers nœuds de la tige sont vestigiaux et se situent aux niveaux du sol ou sur la surface (Saskatchewan, 2000). Les feuilles sont composées pennées et comportent jusqu'à 10 paires de folioles très étroites terminées en vrilles (Fig. 2). La première fleur de la tige principale est située à l'aisselle du 11e, 12e ou 13e nœud

non vestigial et sont de couleurs blanchâtre veinées de violet (Vendenberg et Slinkard, 1990).



Figure 02: Tige et feuilles de la lentille (*Lens culinaris* Medik) [04]

### 2.3. Fleurs et fruits

Les fleurs sont petites généralement émises par paire, elles sont de couleur blanche ou vert pâle, parfois teintée de pourpre (Fig. 3). L'apparition des premières fleurs dépend de plusieurs facteurs tels que la précocité de la variété, la date et la densité du semis et des techniques culturales (Chevalier, 1933). Les fruits sont des gousses, aplaties, sont isolées ou disposées en paire et apparaissent à l'aisselle du 11e, 12 e ou 13e nœud et des nœuds suivants. Chaque gousse possède un court pédicelle et renferme une ou deux petites graines en forme de loupes (Fig. 4). La couleur du tégument séminal est variable, allant du blanc (absence de tannins) au vert pâle, au gris, au brune et au noire, et porte souvent des mouchetures violacées de grandeur variable (Venderberg et Slinkard, 1990).



Figure 03: Fleurs de la lentille (*Lens culinaris* Medik) [05]



Figure 04: Fruits (les gousses) de la lentille (*Lens culinaris* Medik) [06]

### 3. Classification botanique de la lentille

L'espèce *Lens culinaris* (lentille cultivée) est une espèce de plantes dicotylédones annuelles appartenant à l'ordre des Fabales et à la famille des Fabaceae ou légumineuses. Selon **Brink et Belay (2006)**, le plan taxinomique de la lentille se présente comme suit :

**Règne:** Plantea

**Sous-règne:** Tracheobionta

**Division:** Magnoliopsida

**Sous - classe:** Rodidae

**Ordre:** Fabales

**Famille:** Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

**Genre:** Lens

**Espèce:** *Lens culinaris* Medik

#### 3.1. Les types de lentilles

4 espèces appartenant au genre *Lens* ont été reconnues, sur la base de caractères morphologiques, de la capacité à s'hybrider, et de données cytogénétiques, biochimiques et moléculaires ; il s'agit de *Lens culinaris* (qui comporte des types tant sauvages que cultivés) et de 3 espèces sauvages : *Lens nigricans* (M.Bieb.) Godr, *Lens lamottei* Czefr. et *Lens ervoides* (Brign.) Grande se trouve en Afrique orientale (Ethiopie et Ouganda). *Lens culinaris* a été divisé en 4 sous-espèces (une cultivée et trois sauvages) :



- ✓ **Lens culinaris subsp. culinaris**: stipules entières, lancéolées, gousse indéhiscente, glabre, tégument tacheté ; c'est la lentille cultivée.
- ✓ **Lens culinaris subsp. odemensis (Ladiz.)**: stipules légèrement hastées, celles du bas au moins légèrement dentées, gousse déhiscente, glabre, tégument recouvert d'un motif en W, originaire de Libye, d'Israël, de Turquie et de Grèce.
- ✓ **Lens culinaris subsp. Orientalis (Boiss.) Ponert**: stipules entières, obliquement lancéolées, gousse déhiscente, glabre, tégument généralement tacheté ; c'est l'ancêtre sauvage de la lentille cultivée, répartie depuis la Grèce jusqu'à l'Ouzbékistan et depuis la péninsule de Crimée jusqu'en Jordanie ;
- ✓ **Lens culinaris subsp. tomentosus (Ladiz.)**: Stipules entières, obliquement lancéolées, gousse déhiscente, tomenteuse, tégument tacheté ; originaire de Syrie et de Turquie (**Brink et Belay 2006**).

#### 4. Types de graines de lentilles

La lentille cultivée est classée en deux groupes selon la couleur et la taille de la graine (**Fig. 5**):

##### 4.1. Les petites lentilles (**Microsperma**)

Ce groupe caractérisé par de petites fleurs (de 5-7 mm de long) de couleur bleu-violet à blanches ou roses, les gousses sont petites et les graines sont aussi petites (diamètre inférieur à 6 mm). Ce groupe est le plus dominant en Asie, Égypte et Ethiopie (**Begiga, 2006**).

##### 4.2. Les grosses lentilles (**Macrosperma**)

Les fleurs sont grandes (de 7-8 mm de long) de couleur blanche (rarement bleu). Les gousses sont grandes, généralement plates et les graines sont aussi grosses (diamètre supérieure à 6 mm). Ce groupe prédomine en Afrique du nord, en Europe et en Amérique (**Begiga, 2006**).



Figure 05: Présentation de quelques cultivars de lentille (Brink et Belay, 2006)

### 5. Cycle biologique de *Lens culinaris* Medik.

Lorsque les températures sont optimales, les graines de lentilles germent en 5 à 6 jours et la floraison débute entre la 6ème et la 7ème semaine après le semis. Le cycle de croissance est de 80 à 110 jours pour les cultivars à cycle court et de 125 à 130 jours pour les cultivars à cycle long (Begiga, 2006). Celui-ci comprend deux phases

- ✓ **Phase végétative:** cette phase comprend deux stades : la croissance et la production des feuilles.
- ✓ **Phase reproductive:** elle est représentée par la floraison, la fructification et la production des graines (Fig. 6) (Schwartz et Langham, 2012).



Figure 06: Cycle biologique de la lentille : (1) Graine, (2) Germination, (3) Croissance, (4) Floraison, (5) Fructification [07]

## **6. Exigences pédoclimatiques**

### **6.1 Eau**

La lentille craint l'asphyxie et tolère modérément la sécheresse. Elle peut être cultivée dans les zones où la pluviométrie est comprise entre 300 et 500 mm et même une pluviométrie de 250 mm dans les sols lourds. Pendant la période de la formation et de remplissage du grain, le stress hydrique provoque un échaudage qui se traduit par des grains maigres, de mauvaise qualité et un rendement faible (**ITGC, 2013**).

### **6.2 Sol**

La lentille peut être cultivée sur de nombreux types de sol, elle s'accommode mieux aux sols légers et peu profonds. Les sols à pH légèrement acides (6.0) à modérément alcalins (8.0), lui conviennent bien. Lorsque le pH de sol est supérieur à 9, la nodulation est retardée et les rendements sont faibles. Les sols trop calcaires, les sols très fertiles et les sols à faible réserve utile en eau sont fortement déconseillés. La lentille demande une terre propre et ameublie en profondeur (**ITGC, 2013**).

### **6.3 Températures**

La lentille est une plante qui résiste bien aux températures basses pendant la période végétative mais elle est sensible aux gelées et aux fortes températures à la floraison. La température favorable à la germination se situe entre 10°C et 30 °C. Une forte humidité et des températures se situant entre 22 et 28 °C favorisent les maladies (**ITGC, 2013**).

## **7. Zones de cultures et de production de la lentille**

### **7. 1. Au niveau mondial**

Actuellement la culture de la lentille est très largement répandue à travers les régions du monde, après son introduction aux Amériques en Nouvelle Zélande et en Australie. Elle est maintenant largement cultivée dans les régions tempérées et subtropicales (**Omar et al., 2013**). Les principaux pays producteurs de la Lentille sont (**Tab. 01**): Le Canada, la Turquie, l'Iran, l'Australie, la Chine et la Syrie alors que les principaux importateurs sont: l'Egypte, l'Algérie, la Colombie, la France, le Pakistan et l'Espagne (**Ahlawat, 2012**).

Tableaux 01: Grands producteurs de lentilles (FAO, 2008)

Pays	Production
Canada	3, 233,800
Inde	1,055, 536
Turquie	365,000
États-Unis d'Amérique	255,061
Népal	253,041
Australie	181,638
Éthiopie	166,274
Bangladesh	158,228
République populaire de Chine	142,991
Kazakhstan	139,724
Syrie	112,193

## 7.2 En Algérie

L'Algérie est l'un des cinq premiers importateurs de lentilles dans le monde avec l'Égypte et la Colombie, la France, le Pakistan, et l'Espagne. Elle produit en moyenne 800 000 à 900 000 quintaux de légumineuses alimentaires, ce qui répond aux besoins du marché à hauteur de 30 à 35% (**Zeghouane, 2011**). Sur les 5 dernières années, entre 80 000 et 85 000 hectares ont été semés (toutes espèces confondues: lentilles, pois chiches, fèves) (**Belaid, 2017**). En Algérie, la culture des lentilles n'occupe que 1.5% de la totalité des terres réservées aux légumineuses alimentaires (**Ait Abdellah et al., 2011**) ; elle s'étale sur de grandes surfaces dans les hautes plaines (Tiaret, Saida, Sétif) et les plaines intérieures (Bouira, Médéa, Mila) (**Fig.7**). Ainsi dans la région de Constantine, les productions de lentilles ont progressivement évoluées entre 2006 et 2011. Cette évolution est liée à l'élargissement des superficies destinées à cette culture ainsi qu'au nombre d'agriculteurs s'y intéressant [**08**].

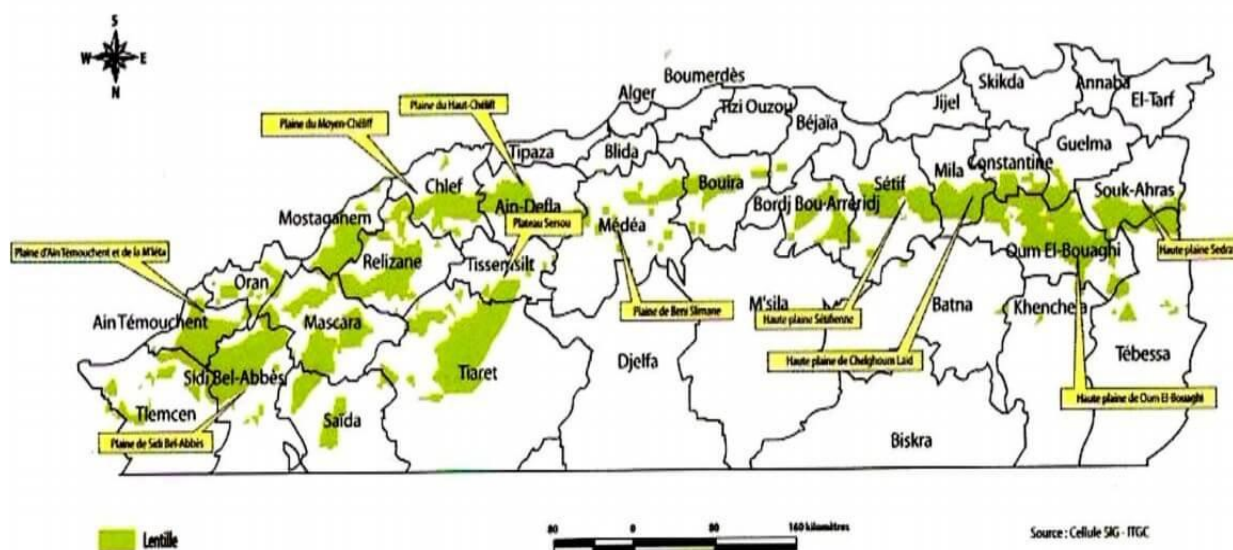


Figure 07: Zones d'aptitude de la culture de la lentille en Algérie (ITGC, 2013)

## 8. Avantages des cultures de la lentille

La culture de lentille présente de nombreux avantages, tant au niveau agronomique économique, scientifique et nutritionnel

### 8.1. Intérêt économique

A travers le monde, la lentille sont des plus importantes légumineuses à graines. La production mondiale de lentilles en 2011 a été estimée à près de 4,4 millions tonnes sur une aire totale de 4,2 millions d'hectares (**FAOSTAT-Agriculture, 2011**). Les principaux pays producteurs sont le Canada (1531900 t sur 998400 ha) suivie de l'Inde (943800 t sur 1597400ha). En Afrique du nord, le Maroc (45438 t sur 57980 d'ha) est le principale pays producteur. en 2011, les légumes secs ont enregistré des hausses pour les quantités importées à l'exception des lentilles qui ont connu des baisses et qui s'explique par l'accroissement de la production locale annuelle (**Ministère du Commerce, 2011**). Néanmoins, la production locale de la lentille (3800 tonnes sur 3700 ha) reste très faible au regard des importations qui s'élèvent à 93432 tonnes (**FAOSTAT-Agriculture, 2011**).

### 8.2. Intérêt agronomique

Les lentilles sont capables de fixer l'azote de l'air grâce à la symbiose avec des bactéries du genre *Rhizobium* hébergées dans des nodules racinaires ce qui permet

d'enrichit le sol en azote et de diminuer l'utilisation d'engrais minéraux et donc de réduire les émissions de gaz à effet de serre liées à la production et à l'utilisation de ces engrais (**Voisin et al., 2013**).

Elles sont aussi un bon précédent cultural, car les résidus de culture qui se minéralisent après la récolte sont riches en azote, ce qui permet de réduire aussi les apports d'azote sur la culture suivante. De ce fait, les légumineuses comme la lentille ont une importance particulière en agriculture biologique, notamment dans les systèmes où le déficit azoté est récurrent (**David et al., 2005**).

La culture de la lentille assure aussi un assolement et une rotation (graminées et légumineuses) pour optimiser l'exploitation agricole et la diversification de la production agricole (**FAO, 2006**).

### **8.3. Intérêt scientifique**

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

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

### **8.4. Intérêt nutritionnel**

La lentille est une culture d'un grand intérêt par ses propriétés nutritionnelles dont La composition de ses graines mûres sèches se présente dans le tableau **02**.

Parmi l'ensemble des légumes secs, la lentille est le plus riche en protéines, en vitamine B2 et en fer. Elle contient beaucoup de fibres et d'amidon, elle est très pauvre en lipides et affiche un indice glycémique très bas. Les protéines des lentilles associées au même repas avec des protéines de céréales se complètent parfaitement, et offrent ainsi une source de protéines bien équilibrées [09]

La lentille est surtout cultivée pour ses graines mûres, qui sont consommées principalement en sauces et en soupes. De nombreux autres plats à base de lentilles sont préparés dans différents pays. Les graines sont réduites en une farine qui sert à fabriquer des galettes et des pains, ou à préparer des aliments spéciaux destinés par exemple aux nourrissons ou aux invalides. Les jeunes gousses, les graines germées et les feuilles se consomment comme légume (Yunnus et Jackson, 1991). De même, les animaux en particulier les volailles sont nourrit parfois avec des graines de lentille pour leur procurer des protéines. Elles sont parfois employées comme source d'amidon dans l'industrie textile et dans l'imprimerie. Les cosses, les téguments et les tiges feuillées fraîches ou sèches fournissent du fourrage pour le bétail (Yunnus et Jackson, 1991 ; 1).

**Tableaux 02 : Représente la valeur nutritionnelle moyenne de la lentille sèche: Pour 100g (Souci et al., 2008)**

Apport énergétique	Principaux composants	Minéraux et oligo-éléments	Vitamines	Acides aminés
1146Kj	Glucides 40,6 g	Bore 0.70mg	Provitamine A 0.100 mg	Acide aspartique 3160 mg
270kcal	Amidon 39,48 g	Calcium 65mg	Vitamine B1 0.480 mg	Acide glutamique 4490 mg
	Sucres 1,12 g	Chlore 84mg	Vitamine B2 0.265 mg	Alanine 1290 mg
	Fibre alimentaire 17 g	Chrome 0.0051mg	Vitamine B3 2.5 mg	Arginine 2240 mg
	Protéines 23,4 g	Cobalt 0.016 mg	Vit B5 1.6 mg	Cystine 250 mg
	Lipides 1,60 g	Cuivre 0.763 mg	Vit B6 0.550 mg	Glycine 1300 mg
	Eau 11,40 g	Fer 8 mg	Vit B9 0.168 mg	Histidine 710 mg
	Cendres totales 2,51g	Magnésium 129 mg	Vit C 7 mg	Isoleucine 1190 mg

		Nickel 0,300 mg	Vit K 0.123 mg	Lysine 1890 mg
		Phosphore 408 mg		Méthionine 220 mg
		Potassium 837 mg		Phénylanine 1400 mg
		Sélénium 0.0098 mg		Proline 1220 mg
		Sodium 6.6 mg		Sérine 1510 mg
				Thréonine 120 mg
				Tryptophane 840 mg

## 9. Les ennemies de la lentille

### 9.1. Les maladies cryptogamiques

La culture de lentille est sujette à de nombreuses maladies cryptogamiques (**Tab.03 ; Fig. 08**) durant leur cycle de développement ce qui provoque des pertes de rendement importantes, surtout lorsque la variété utilisée est sensible et les conditions de l'environnement sont favorables.

Le tableau ci-dessous représente l'agent causal, les symptômes, le mode de transmission et la méthode de lutte de quelques maladies cryptogamiques affectant la lentille en Algérie.

**Tableau 03: les maladies cryptogamiques de la lentille en Algérie (Mbsoute et Saadaoui, 1996 ; Belabid et *al.*, 2000 ; Belaid, 2017)**

Les maladies	Agent causal	Les symptômes	Méthodes de lutte	Modes de transmission



L'anthracnose	<i>Colletotrichm truncatum</i>	Des taches arrondies ou allongées, sur les tiges, les gousses et les feuilles et même des cassures de branches, lorsque l'attaque est sévère. De même, ce champignon provoque le dessèchement de la plante et perturbe les rapports hydriques en provoquant la nécrose des tissus verts.	-Utilisation de semences saines. - Enfouissement des débris.  - Rotation avec une céréale (blé, orge). Traitement de semences avec Apron Star.	Semences, débris végétaux et sol
La rouille	<i>Uromyces fabae</i>	Des pustules de couleur brune et rougeâtre apparaissent sur les feuilles ensuite les tiges et les gousses.  -Dessèchement des feuilles et tiges.  -Formation de téléospores noires, qui servent de structure de conservation dans les débris végétaux pour une période de plus de deux ans.	-Rotation avec une céréale (blé, orge).  -Lutte chimique avec des fongicides à base d'azoxystrobine, cyproconazole, metconazole, tébuconazole.	Sol

Moisissure grise	<i>Botrytis cinerea</i>	Les feuilles des plants infectés se fanent et tombent. Les gousses peuvent rester vides et les parties infectées deviennent grises ou brunes ce qui abaisse la qualité des graines en raison de l'altération de leur couleur.	-Lutte chimique : Le boscalid est homologué contre la maladie au stade foliaire.  -L'utilisation de variétés tolérantes	Semences et sol
Le flétrissement fusarien	<i>Fisarium sp. mycospharella pinodes</i>	Flétrissement partiel ou total suivi d'un jaunissement puis brunissement au niveau des vaisseaux attaqués et en fin dessèchement de la plante entière. Les graines issues d'une attaque tardive sont échaudées. En cas d'attaque sévère, les pertes peuvent atteindre 100 % du rendement.	-Rotation avec une céréale (blé, orge).  -Traitement chimique de semences avec Apron Star.	Le sol et les semences Tiges, feuilles et gousses.

La pourriture racinaire.	<i>Fusarium solani</i>	La pourriture racinaire de la lentille induit un jaunissement des feuilles de la base de la plante, qui se développe pour atteindre les feuilles du sommet. Les feuilles atteintes se dessèchent immédiatement et tombent. Les racines prennent une coloration brun rouge puis se décomposent (pourriture du système racinaire).	-Utilisation de semences saines. -L'espacement entre les rangs.	Semences et sol
Ascochytes	<i>Ascochyta lentis</i>	La maladie peut être dévastatrice, couvrant les tiges, les feuilles et les gousses de taches nécrotiques. Les feuilles fortement infectées brunissent et tombent. Les tiges peuvent dépérir, mais le réseau vasculaire est rarement touché. Les pertes de rendement peuvent atteindre 50 % si la culture n'est pas traitée.		La maladie peut être propagée par les semences ou les résidus.
Sclérotiniose	<i>Sclerotinia sp</i>	provoque le développement d'un duvet mycélien de couleur blanche à la base de la tige transformant ainsi la surface atteinte en pourriture molle, avec jaunissement et mort de la plante. Les tissus infectés se forment des sclérotés noirs.		



(A)



(B)



C

D

**Figure 08: Quelques maladies cryptogamiques de la lentille : (A) La rouille jaune, (B) Le flétrissement fusarien, (C) La pourriture racinaire, (D) La sclerotiniose [10]**

## 9.2 Les ravageurs de lentille

Des nombreux ravageurs sont susceptibles d'affecter les cultures de lentille et de provoquer des dégâts considérables, du fait de leur grande mobilité. Parmi les ravageurs les plus répandus et les redoutés, on cite :

### 9.2.1 Les criquets (ordre des orthoptères)

Les criquets peuvent causer, en très peu de temps, des dégâts d'envergure régionale sur les vastes superficies cultivées en lentilles, entre autres cultures. Ne prisant pas le feuillage de la lentille, ils dévorent les boutons floraux, les fleurs et les gousses en croissance (**Fig. 9**). Pour lutter contre les criquets, plusieurs insecticides (la deltaméthrine, le malathion et le chlorpyrifos) sont homologués pour la protection des lentilles contre ces ravageurs. De même, on peut surveiller la bordure des champs, la bande de terrain longeant les clôtures, le bord des routes et les cultures sur chaume pour réduire le développement des larves, puisque les criquets tendent à pondre dans les terrains où la croissance est verte et offre une source potentielle de nourriture (**Belaid, 2017**).



**Figure 09: photo montrant le Criquet de lentille [11]**

### 9.2.2 Vers-gris

Plusieurs espèces de vers-gris peuvent ravager la lentille. Les insectes sont répartis de façon irrégulière dans le champ. Chez plusieurs espèces, les œufs éclosent à l'automne, et les larves hivernent sans avoir parachevé leur développement. Elles se nourrissent de mauvaises herbes et de ressemés spontanés. La lutte contre ce ravageur est basée sur le choix du moment des pratiques agronomique, certaines espèces préférant pondre dans un sol meublé. Dans le cas d'une infection sévère, la lutte chimique est préconisée en utilisant la deltaméthrine qui est homologuée contre la plupart des vers-gris de la lentille (**Belaid, 2017**).

### 9.2.3 Les pucerons

Les pucerons sont des insectes ravageurs de la lentille provoquant des dégâts importants devenus de plus en plus prononcées avec le changement climatique (**Amri et al., 2019**). Les dégâts causés par ces ravageurs résultent du flétrissement du feuillage et de transmission de virus (**Sekkat, 2015**). Pour lutter contre ce ravageur, le contrôle chimique, dès l'apparition des premiers insectes, reste le moyen le plus efficace pour limiter leurs infestations (**ITGC, 2013**).

### 9.2.4 La tordeuse

Cette espèce est un ravageur sporadique qui passe habituellement inaperçu. La larve se nourrit à l'intérieur de la gousse et hiverne dans le sol (**Nasraoui, 2008**). Le traitement chimique par un insecticide au début de floraison peut être efficace contre la chenille (**Gerber, 1983**).

### 9.2 .5 Les bruches

Les bruches sont les plus importants insectes ravageurs de lentille à grains entreposées dans les régions tropicales (FAO, 2009). Ces insectes infestent les graines au champ et continuent de se multiplier pendant l'entreposage (White, 2001). Les dégâts causés par ces ravageurs résultent du fait que les femelles pondent leurs œufs sur les graines ou les gousses et les larves néonates pénètrent dans les graines immatures qui poursuivent leur développement et mûrissent. Au terme de leur développement, les larves détruisent l'enveloppe interne des graines pour y faire leur loge de nymphose. Pour protéger les denrées entreposées contre ces bruches, les insecticides chimiques comme Pirimiphos méthyl (Actellic) ou le sofagrain (Pyrimiphos méthyl Deltaméthrine) sont souvent intensivement utilisés (Fig. 10) (Chougourou et Alavo, 2011)



A



B

Figure 10: Bruches de la lentille (A: Bruche polyvoltine ; B: Bruche monovoltine) [12]

### 9.3 Principales mauvaises herbes

#### 9.3.1 Monocotylédones annuelles

Les mauvaises herbes monocotylédones annuelles peuvent faire diminuer le rendement de 25 à 40 %, selon leur densité et le moment de leur levée par rapport à la levée de la plante cultivée. L'avoine sauvage (*Avena fatua*), la sétairie (*Echinochloa* sp.) et le blé tendre spontané (*Triticum aestivum*) sont souvent présents dans les champs de lentilles (Fig. 11). L'avoine sauvage est présente la plupart des années, les sétaires prédominent plus particulièrement au cours des années où le temps est chaud et sec, et les céréales spontanées peuvent être une nuisance plus grave si, dans la saison précédente, des problèmes de récolte ont mené à l'égrenage prématuré et à la dispersion des graines (Belaid, 2017).



A



B

Figure 11: Monocotylédones annuelles (A : Avoine ; B : Blé) [13]

### 9.3.2 Dicotylédones annuelles

Plusieurs espèces dicotylédones sont souvent présentes dans les champs de lentilles, parmi lesquelles on trouve le canola spontané (*Brassica napus*), la moutarde (*Sinapsis arvensis*) et le lin spontané (*Linum usitatissimum* L.). Ces espèces sont difficiles à maîtriser dans les cultures de lentilles en gênant la croissance et le développement des plantules. D'autres espèces qui germent tard au cours de la saison, soude roulante (*Salsola pestifer*), kochia à balais (*Kochia scoparia*) et tomate sauvage (*Lycopersicon lycopersicum*) sont des concurrentes sérieuses de la culture, gênent la récolte et accroissent le taux d'impuretés et d'humidité dans les graines récoltées. (Belaid, 2017).

# *Chapitre II*

## *Généralités sur la salinité*

## 1. Le stress chez les plantes

### 1.1 Définitions du stress

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par ailleurs, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, tels que: le type de contrainte, son intensité, sa durée et caractéristiques génétiques, espèce et génotype (**Hopkins, 2003**).

Selon **Jones et Jones (1989)**, un stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé, est une force ou une influence hostile qui tend à empêcher un système normal de fonctionner.

Un stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de l'homéostasie afin de tolérer le stress et de fuir les conditions défavorables (**Levitt, 1980**).

### 1.2 Les différents types de stress

Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress : les stress biotiques dus à une agression par un autre organisme et les stress abiotiques qui sont dus principalement à des facteurs environnementaux (**Levitt, 1980**).

#### 1.2.1 Le stress biotique

Ce terme représente la totalité des paramètres physico-chimiques ou biologiques qui découlent de l'existence de l'action des êtres vivants. Les facteurs biotiques caractérisent donc l'ensemble des influences qu'exercent les êtres vivants (microorganismes, insectes, herbivores...) entre eux et sur leur milieu (**Ramade, 2003**).

#### 1.2.2 Le stress abiotique

Le stress abiotique est un terme général qui comprend de multiples contraintes telles que la chaleur, le froid, la sécheresse, l'excès de lumière, le rayonnement UV-B (Rayonnement Ultra-violet de longueur d'onde moyenne entre 315 et 280 nm), l'excès d'eau, la salinité, les blessures occasionnées par les ravageurs et les pratiques culturales ainsi que l'exposition à l'ozone et le choc osmotique. Il a été estimé que 90% des terres arables sont



soumises aux stress abiotiques. Certaines de ces contraintes, telles que la sécheresse, les températures extrêmes et la haute salinité limiteraient fortement la productivité des cultures (Dita et al., 2006).

## 2. La salinité des sols

### 2.1. Définition des sols salés

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 0,5 g/l (Robert, 1996). Selon Calvet (2003), un sol est dit salé quand la conductivité électrique est supérieure à 4 dS/m. Génétiquement, les sols sont constitués par deux unités très différentes, les Salisols, dans lesquels les sels de sodium, de calcium ou de magnésium sont sous la forme soluble de sels 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).

### 2. 2. La salinisation

La salinisation peut être définie comme étant le processus d'accumulation des sels minéraux solubles dans le sol à des niveaux nuisibles pour les plantes. Ces sels dissouts sont constitués d'un mélange de cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$ ) et d'anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{HCO}_3^-$ ) (Tanji, 2004) et sont présents dans la rhizosphère en quantités suffisamment élevées pour nuire la plupart des plantes (Munns et Termaat, 1986). Ces quantités élevées de sels conduisent donc à un stress hydrique (Shrivastava et Kumar, 2015).

### 2.3 Origine des sols salés

#### 2.3.1 Origine primaire

La salinisation primaire résulte du processus d'altération des roches salines libérant les éléments nécessaires à la formation des sels solubles (Lallemande, 1980), ou le matériel d'origine du sol est naturellement riche en sels solubles ou encore la présence d'une nappe phréatique salée peu profonde. Pendant la saison sèche, les fortes températures à la surface provoquent l'évaporation de la solution du sol et entraînent une remontée par

capillarité de la nappe salée qui accroît la concentration des sels en surface et augmente ainsi la salinité des horizons de surface (Munns *et al.*, 2006). De même, dans les régions arides ou semi-arides, le lessivage et le transport en profondeur des sels dissous n'existent plus et l'évapotranspiration importante favorise la concentration des sels dans le sol (Lallemande, 1980).

### 2. 3. 2. Origine secondaire

Elle est liée à l'action anthropique et principalement à l'irrigation avec de l'eau chargée en sels solubles. La pratique de l'irrigation s'est d'abord développée dans les régions aride et semi-aride où l'eau est le facteur limitant pour les cultures. Elle est connue dès la préhistoire mais elle s'est particulièrement développée avec l'essor des civilisations mésopotamiennes et égyptiennes (Robert, 1996).

Ce type de salinisation est la conséquence de pratiques agricoles dû à la mauvaise combinaison d'une forte évaporation et d'un apport inadapté d'eau d'irrigation en relation avec son contenu en sels dissous. Le risque de salinisation dépend de la charge en sel de l'eau d'irrigation, mais, même si les eaux d'irrigation sont de bonne qualité, très peu chargées en sel, ces eaux peuvent conduire à une accumulation excessive de sels au sein de la zone racinaire à chaque irrigation sous l'influence de l'évaporation [10].

### 2. 4. Classification des sols salins

La classification qui a été proposée par Duchaufour en 1988 (cité in Loyer, 1991) a révélé l'existence de deux groupes de sols salins :

#### 2.4.1. Sols salins à complexe calcique (les Solontcheks)

Ces sols ont pour principale caractéristique dans la solution du sol et dans le complexe adsorbant, la dominance du calcium et du magnésium sur le sodium et le potassium. C'est le cas de sols calcaires et gypseux dont la composition cationique de la solution du sol est comprise entre ces limites:  $1 < Ca+Mg/Na+K < 4$  et  $Ca/Mg \geq 1$ . La structure de ces sols reste stable même après dessalement. Une légère alcalinisation (augmentation de pH) se manifeste.

### 2.4.2. Sols salins à complexe sodique (les Solonetz)

Dans lesquels le sodium, dominant dans la solution du sol relativement aux alcalino-terreux, se fixe préférentiellement à ceux-ci, sur le complexe échangeable. On a dans la solution du sol :  $Ca^{+} Mg/Na + K < 1$ . L'alcalinisation est nettement marquée après dessalement et hydrolyse du complexe. La structure tend en suite à se dégrader.

## 3. Répartition des sols salés dans le monde et en Algérie

### 3.1. Dans le monde

Les sols salés occupent des surfaces étendues à travers le monde et constituent une grande ampleur pour l'agriculture. Leurs distributions géographiques se superposent presque entièrement à celles 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 (**Tab. 04**), soit 23 % des terres cultivées (**FAO, 2008**). **White et al. (2003)** propose un classement des zones arides basé sur les valeurs du rapport ratio précipitation annuelle/évapotranspiration potentielle moyenne annuelle, le monde est de ce fait, divisé en:

- A) Zones hyper arides couvrant environs 11 millions de Kilomètres carrés, soit 8% des terres totales et elles correspondent principalement au désert du Sahara.
- B) Zones arides, semi-arides et subhumides sèches qui couvrent près de 54 millions de kilomètres carrés principalement concentrés en Asie et Afrique (**Fig. 12**).

**Tableau 04: Superficies affectées par la salinité dans le monde (FAO, 2008)**

Région	Superficie
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

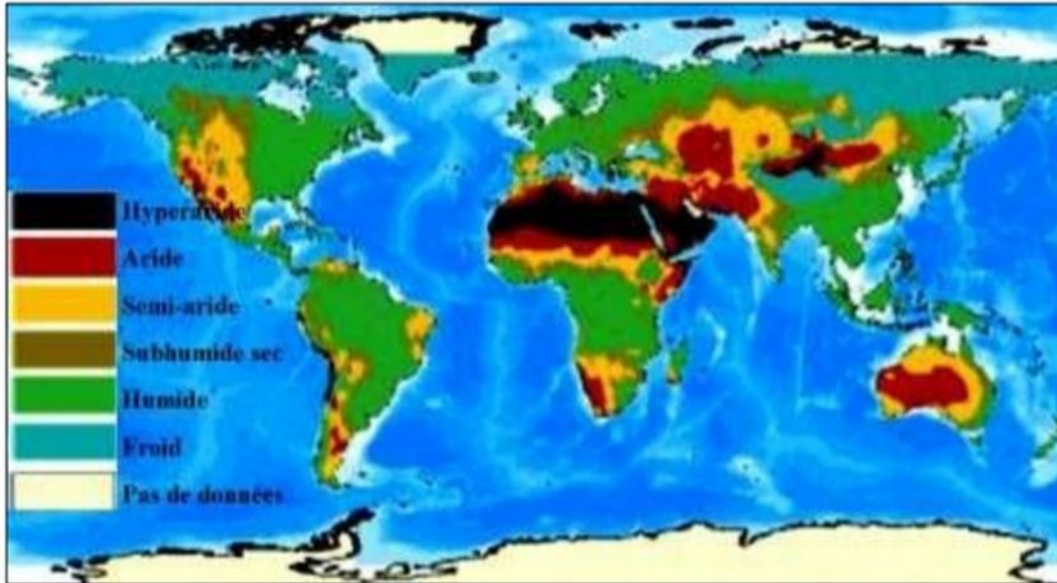


Figure 12: Carte des zones arides dans le monde (White et al ., 2003)

### 3. 2. En Algérie

Les sols salés sont très répondeu en Algérie(**Fig. 13**), d'après **Szablocs , (1989)** 3,2 million d'hectares subissent à des degrés de sévérité variable, le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient. Ce phénomène est observé dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays (Mina, Cheliff, HabraSig, Maghnia) dans les hautes plaines de l'Est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), aux abords des Chotts et de Sebkhass (Chott Ech Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhass d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazhrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc....). (**INSID, 2008**).

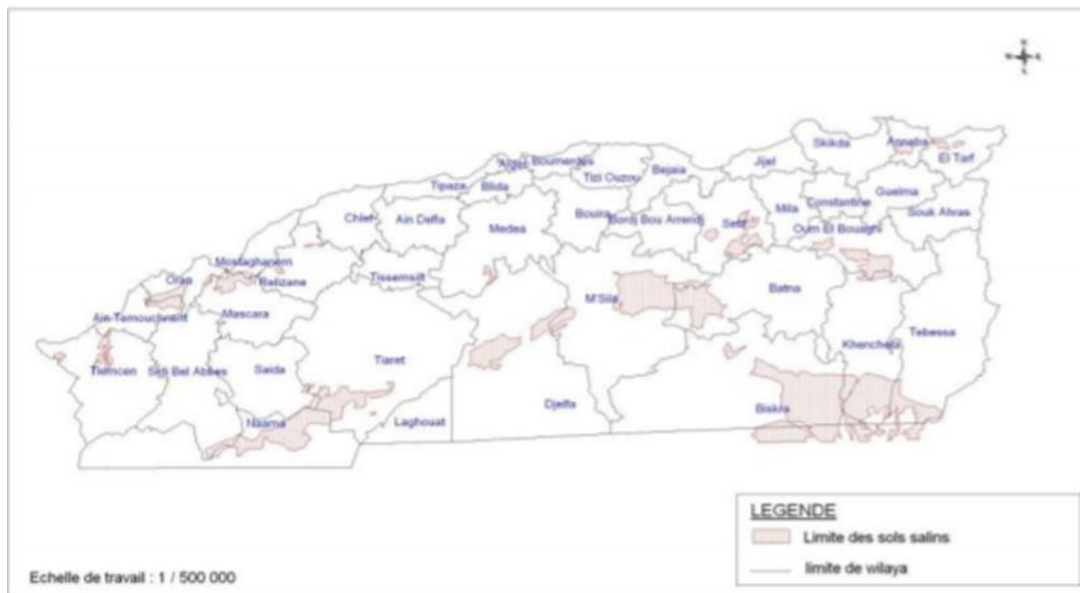


Figure 13: Répartition des sols salins dans le Nord de l'Algérie (INSID, 2008).

#### 4. Stress salin et ses effets sur les plantes

##### 4. 1. Définition

On parle de stress salin dans le cas de concentrations en sel supérieur à 100 mM dans le milieu extérieur. Bien entendu, la concentration réelle du sol en sel dépend des conditions environnementales (évaporation, précipitation). Le stress salin altère le statut hydrique et l'homéostasie de la plante, perturbant des processus majeurs comme la croissance, la photosynthèse, ou bien encore la synthèse de protéines (**Parida et Das, 2005**).

Le stress salin influence la croissance à travers de nombreuses facettes du métabolisme, tel que l'absorption des éléments nutritifs (**Grattan et Grieve, 1993**) et leur distribution au sein de la plante (**Grattan et Grieve, 1999**), la respiration, la synthèse des acides nucléiques (**Ben-Hayyim et al., 1989**), l'accumulation des solutés organiques, l'activité des enzymes (**Dubey et Rani, 1990**), l'équilibre hormonal et la disponibilité de l'eau (**Hamza, 1980**).

## 4.2. Effets du stress salin sur les plantes

Le Stress salin est l'un des facteurs abiotiques qui affectent grandement la croissance et le développement des plantes et limite fortement les rendements agricoles (**Khales et Baaziz, 2006**).

Durant le début de développement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétique... sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress (**Parida et Das, 2005**).

Le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique (**Hayashi et Murata, 1998 in Parida et Das, 2005**). L'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol (**Greenway et Munns, 1980 in Parida et Das, 2005**). L'augmentation du potentiel osmotique dans la zone racinaire conduit à une réduction du potentiel hydrique du sol, ce qui rend de plus en plus difficile l'acquisition d'eau et de nutriments par les plantes et le maintien de la turgescence et par suite une réduction de croissance et une limitation de la productivité des plantes. En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  dans le cytoplasme perturbe l'activité métabolique. De même l'accumulation des ions  $\text{Na}^+$  dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{NO}_3^-$  (**Nabi, 2009**).

### 4. 2. 1. Sur la germination

La germination des graines qu'elles soient halophiles ou glycophiles, est très affectée par la salinité (**Debez, 2001**). Les concentrations élevées du sel empêchent la germination d'*Arabidopsis thaliana* (**Zhu, 2001**). D'autre part, **Askri et al. (2007)**, ont enregistré une diminution de la vitesse de germination et de la capacité germinative des graines de pastèque (*Citrullus latanus* L.) soumises à deux concentrations salines de NaCl (50 et 100 mM). D'autres auteurs ont rapporté que plus de 50% des graines d'artichauts irriguées avec des solutions salines sont mortes 4 à 5 jours après l'émergence de la radicule (**Mauromicale et Licandro, 2002**). De même, **Alaoui et al. (2013)**, ont révélé une diminution de la capacité germinative chez six variétés marocaines de blé traitées avec de concentrations croissantes de NaCl (0,5, 10 et 15 g/l). Selon **Katembe et al. (1998)**, le sel provoque une diminution de la quantité d'eau et la vitesse de son absorption par la graine, en fonction de l'accroissement de la

pression osmotique de l'eau d'imbibition, ce qui inhibe le processus germinatif. De plus, le sel augmente la pénétration d'ions qui peuvent s'accumuler dans la graine à des doses qui deviennent toxiques (**Debez et al., 2001**). Quand le stress salin est levé et que la germination est remise dans des conditions normales, les graines reprennent leur activité (**Duan et al., 2004**).

#### 4.2.2. Sur La croissance

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes. La croissance de la majorité des plantes est réduite ou inhibée quand la concentration en sel dans l'environnement racinaire s'élève au-dessus de 100 mM de NaCl. Chez les légumineuses, l'effet dépressif du sel se manifeste à partir d'un seuil critique de concentration, caractéristique de l'espèce ou de la variété. Chez la luzerne, **Farissi et al., (2014)**, ont démontré que le sel entraîne une réduction des productions de matière sèche aérienne et racinaire. Plusieurs causes sont évoquées pour expliquer le déterminisme de la réduction de la croissance sous les conditions de stress salin, incluant entre autre, la diminution du contrôle du statut hydrique, le désordre nutritionnel, le ralentissement de la synthèse protéique, la perturbation de la stabilité des structures membranaires et l'inhibition de l'activité des enzymes. De plus **Mezni (2010)**, a montré que le stress causé par la salinité inhibe de manière significative la croissance de différents organes de la luzerne, toutefois, les racines sont souvent plus touchées que les parties aériennes (**Farissi et al., 2014**). Les fortes doses de sel exercent un effet dépressif sur la croissance de la plante de tomate. La réduction de la croissance la plus importante a été observée en présence de 200 mM de NaCl. Elle est de 72% pour la surface foliaire et de 36% pour la hauteur de la plante. La réduction de la croissance pondérale des feuilles, des tiges et des racines esrespectivement. La teneur foliaire en ions Na<sup>+</sup> augmente avec l'augmentation de la dose de sel dans la solution d'irrigation (**Zribi et al., 2008**)

#### 4.2. 3. Sur la photosynthèse

Le développement des plantes est le résultat de l'intégration et la régulation des processus physiologiques dont le plus dominant est la photosynthèse. Les effets du stress salin sur la photosynthèse se manifestent après quelques heures jusqu'à un à deux jours de l'exposition au stress, par un arrêt de l'assimilation du carbone. Lorsque l'exposition au sel dure plusieurs jours, une diminution de l'assimilation du carbone a été observée, cela peut être due à l'accumulation du sel dans les feuilles en développement (**Munn et Termatt, 1986 in**

**Parida et Das, 2005**). De même **Garg et Singla (2004)**, ont rapporté une réduction de l'assimilation photosynthétique nette (PN), de la concentration interne en CO<sub>2</sub>, de la conductance des stomates et de la transpiration chez des plants de pois chiche soumis à un stress salin. La réduction de l'assimilation photosynthétique nette peut être due à la fermeture des stomates, et par conséquent une diminution de la concentration intracellulaire en CO<sub>2</sub> par limitation de son entrée dans les feuilles (**Farissi et al., 2014**). D'autres auteurs ont révélé que la diminution de l'activité photosynthétique est due à plusieurs facteurs: la déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO<sub>2</sub>, la toxicité du sel, la réduction de l'approvisionnement en CO<sub>2</sub> à cause de la fermeture hydroactive des stomates, la sénescence accrue induite par la salinité et le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique (**Iyengar et Reddy, 1996 in Parida et Das, 2005**)

#### 4.2. 4. Sur les rendements

**Wiebe et al. (2001)**, ont démontré que les concentrations élevées de sels limitent la croissance des plantes cultivées et réduisent le rendement des cultures. De même, **Munns et Rawson (1999)**, ont rapporté que les composantes du rendement chez les céréales tels que le nombre de talles par plante, le nombre d'épis, le nombre d'épillets par épi, le poids du grain et le nombre de pointes portant les épillets, subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit. Les mêmes auteurs ont rajouté que l'exposition des plants de l'orge à un stress salin au cours de l'épiaison ou la différenciation de l'épi cause une réduction dans le nombre d'épillets par épi ainsi que le nombre des grains par épi. En outre, ils ont démontré que la salinité a un effet néfaste sur la remobilisation des réserves au cours de la phase de remplissage des grains ce qui affecte négativement le poids de l'épi et le poids de 1000 grains (**Munns et Rawson, 1999**).

#### 4.2. 5. Sur la morphologie des plantes

##### 4. 2. 5. 1. Sur la surface foliaire

L'impact du sel sur l'expansion foliaire est plus marqué avec une réduction importante de la surface foliaire en présence de fortes concentrations en NaCl. Les travaux de **Munns (1993)**, montrent que le sel affecte l'assimilation du carbone par réduction de la surface des feuilles plus que par la réduction de taux de la photosynthèse. De même, **Abdelly et al. (1995)**, pensent que la salinité affecte négativement la surface foliaire, sans toucher les processus photochimique de la photosynthèse, en indiquant que le facteur limitant la



croissance est l'expansion foliaire. D'autres auteurs ont montré que les réponses des plantes à un stress abiotique sont différentes, dans le cas d'un stress salin, les plantes peuvent manifester des réactions, telles que la diminution de la surface foliaire, le faible allongement des organes aériens et leurs ramifications (**Ben Khaled et al., 2013**).

#### 4.2.5.2. Effet sur la partie aérienne

L'effet de salinité se traduit généralement par une faible croissance végétative (diminution de la longueur de la tige, nombre de talles et de feuilles, diamètre des organes...) qui est en fonction de la division cellulaire et de l'allongement. Elle retarde la croissance des bourgeons les plus sensibles aux sels et des racines. La plante pousse prématurément jusqu'à maturité (**Munns et Rawson, 1999**). De même, la salinité affecte également la croissance et la qualité des fruits en modifiant la qualité sensorielle et en diminuant la production et le poids moyen avec l'augmentation du niveau du stress dans le milieu (**Levigneron et al., 1995**).

#### 4.2.5. 3. Effet sur la partie racinaire

L'effet du sel sur le développement du système racinaire a été démontré. Chez l'orge, une diminution de l'élongation du système racinaire a été observée à des concentrations élevées de NaCl 100 à 200 mM. Par ailleurs, la première réponse des glycophytes exposées à la salinité est un ralentissement de leur développement avec une croissance racinaire souvent moins affectée que la croissance foliaire (**Dubey et Singh, 1999**). D'autres études réalisées sur les légumes par **Termaat et al. (1985)**, ont révélé une réduction de la croissance des organes aériens ce qui s'explique par l'effet de la salinité sur la production des régulateurs de croissance au niveau des racines, tels que l'acide abscissique et les cytokinines.

#### 4.2.6. Sur le métabolisme de l'azote

L'activité du nitrate réductase (NRA) diminue dans les feuilles de beaucoup de plantes pendant le stress salin (**Delgado et al., 1993 ; Flores et al., 2000**). La réduction de la NRA dans les feuilles est associée à la présence de l'ion  $\text{Cl}^-$  dans le milieu externe. Cet effet de  $\text{Cl}^-$  sur l'activité du nitrate réductase semble être dû à la réduction de l'absorption du  $\text{NO}_3^-$  et par conséquent une concentration réduite de  $\text{NO}_3^-$  dans les feuilles et plus encore un apport réduit en azote pour la plante (**Flores et al., 2000**). Une autre étude effectuée sur les légumineuses a montré que l'exposition des racines nodulées au NaCl cause une réduction rapide de la croissance végétale ce qui est en rapport avec l'approvisionnement en azote nécessaire à la croissance (**Parida et Das, 2005**).

#### 4.2.7. Sur l'eau dans la plante

La première difficulté d'une plante en milieu salin est d'assurer son apport en eau. Pour cela, il faut que la plante puisse ajuster la pression osmotique de ses tissus par rapport à la pression osmotique du sol, ce qui permet à la plante d'assurer une hypertonie constante. Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence (**Romeroaranda et al., 2001 in Parida et Das, 2005**). Dans les conditions de concentrations élevées de salinité accrue, le potentiel hydrique de la feuille et la vitesse d'évaporation diminuent significativement chez l'halophyte *Suaeda salsa* alors qu'il n'y a pas de changement dans le contenu relatif en eau (**LUET et al., 2002 in Parida et Das, 2005**). D'autre étude montrée que Pour la première fois, une forte concentration de salinité du sol est vue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite une osmose adaptative, de sorte que le potentiel de l'eau cellulaire reste inférieur à celui du milieu extracellulaire et du sol. Ce phénomène, d'une part, assure l'absorption continue de l'eau du sol, et d'autre part, la rétention d'eau à l'intérieur des cellules et le maintien du gonflement. Lorsque la modification osmotique est insuffisante, l'eau a tendance à quitter les cellules, provoquant une pénurie d'eau et une perte de gonflement (**Hasegawa et al., 2000**).

#### 4.3. Mécanismes de tolérance des plantes face au stress salin

Les effets néfastes de la salinité sur la croissance des plantes sont généralement associés au faible potentiel osmotique de la solution du sol et au niveau élevé de toxicité du sodium (et du chlore pour certaines espèces) qui provoquent des perturbations multiples sur le métabolisme, la croissance et le développement des plantes aux niveaux moléculaire, biochimique et physiologique (**Munns, 2006**). Selon leur tolérance à la salinité, la plupart des espèces d'intérêt agronomiques sont rangées dans le groupe des glycophytes, plantes sensibles au sel parce que leur croissance est diminuée en présence du sel dans le sol, à l'inverse un certain nombre de plantes dites halophytes sont naturellement tolérante au sel et pousse bien voire mieux dans un environnement salin qu'en condition normale (**Levigneron et al., 1995**).

#### 4.3. 1. Séquestration du sodium dans des vacuoles

La compartimentation de  $\text{Na}^+$  dans des vacuoles est une stratégie très importante chez les plantes permettant de maintenir ces ions à une faible concentration dans le cytoplasme et de conserver un faible potentiel osmotique cellulaire. L'exclusion de l'excès de sodium du cytoplasme nécessite la synthèse d'osmolytes compatibles avec la réduction du potentiel osmotique, ce dernier est essentiel pour pouvoir prélever de l'eau dans des conditions de stress salin. Ce processus est coûteux en énergie pour la plante (**Lazrek, 2008**).

#### 4.3. 2. Prélèvement de $\text{K}^+$

Dans les conditions optimales, les plantes maintiennent un haut ratio cytosolique  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ . Le stress salin entraîne la diminution de ce ratio, du fait que les ions  $\text{Na}^+$  sont en concurrence avec les ions  $\text{K}^+$ , ce qui est défavorable pour les processus biochimiques cellulaires. De même, une forte concentration de potassium augmente le potentiel osmotique qui entraîne une entrée d'eau à partir du milieu extérieur. Le prélèvement de  $\text{K}^+$  est essentiel pour la turgescence cellulaire et le déroulement des processus biochimiques sous stress salin. (**Farissi et al., 2014**).

#### 4.3.3. L'exclusion des ions

L'autre stratégie permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique (**Munns, 2005**). L'exclusion commence avec la sélectivité de la membrane racinaire, ce qui peut résulter d'une réduction de la perméabilité passive, de la présence de transporteurs sélectifs et d'un transport vers le milieu extérieur des ions déjà absorbés (**Apse et Blumwald, 2007**). Donc, le sel véhiculé jusqu'au feuilles par le xylème est réexporté vers les racines par le phloème. Les cellules racinaires jouent un rôle important dans la protection des parties aériennes en limitant la quantité du sodium transporté par le xylème et /ou l'excrétant dans le milieu extérieur (**Levigneron et al., 1995**).

#### 4.3. 4. Biosynthèse d'osmoprotectants

Les halophytes et quelques glycophytestolérantes à la salinité réalisent l'ajustement osmotique en concentrant les ions salins dans leurs tissus. Mais, les quantités qu'il est nécessaire d'accumulées deviennent rapidement toxiques pour quelques glycophytes

sensibles. Dès lors, une des stratégies d'adaptation consiste à synthétiser des osmoprotecteurs, principalement des sucres et des composés aminés (la proline et la glycine-Bétaïne) et les sucres (Levigneron *et al.*, 1995).

#### 4.3.4.1. La proline

La proline est l'un des solutés compatibles le plus fréquemment accumulé en réponse à des contraintes environnementales variées et joue un rôle important dans la tolérance des plantes (Ben Rejeb *et al.*, 2012). Dans le cas d'un stress salin, l'accumulation de la proline dans le cytoplasme agit comme un osmoticum, ce qui permet de neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation du sel dans la vacuole. Chez les légumineuses, la salinité provoquait l'accumulation de proline dans les nodules et améliorait la croissance et la fixation symbiotique d'azote. (Farissi *et al.*, 2011). Ce composé a été proposé comme stabilisateur de protéines et de complexes macromoléculaires, piègeur de radicaux libres et régulateur du potentiel redox cellulaire. La concentration intracellulaire de la proline dépend d'une régulation fine entre sa biosynthèse et sa dégradation (Ben Rejeb *et al.*, 2012).

#### 4.3.4.2. Les sucres

Les sucres solubles jouent un rôle majeur dans l'ajustement osmotique en condition de stress salin (Fernandes *et al.*, 2004). Le glucose est le sucre majoritairement accumulé dans les feuilles des plantes soumises au stress (Mustard *et Renault*, 2004). Il protège les membranes et les protéines dans les cellules exposées au stress salin et hydrique (Noiraud *et al.*, 2001). D'autre part, le saccharose peut agir en tant que composé soluble compatible et son accumulation peut limiter les dommages au niveau des structures cellulaires et limitant les pertes d'eau par transpiration (Neuhaus, 2007).

#### 4.3.4.3. La glycine bêtaïne

La glycine bêtaïne est principalement présente au niveau des chloroplastes où elle joue une fonction vitale dans la protection des membranes thylakoïdes et dans le maintien de l'efficacité photosynthétique et aussi dans l'osmoprotection en stabilisant les macromolécules et en préservant les membranes sous stress (Yancey, 1994). La relation entre l'accumulation de glycine bêtaïne et la tolérance au stress salin semblerait être liée à l'espèce, voire même au génotype (Ashraf *et Foolad* 2007). Il a été démontré que chez plusieurs espèces (l'épinard, le tournesol, le blé, l'avoine et le maïs), les génotypes tolérants accumulent en réponse au stress plus de glycine bêtaïne que les génotypes sensibles ((Wyn Jones *et al.*, 1984).

### 4.3. 5. Synthèse d'antioxydants

Les plantes produisent des espèces d'oxygène actif nommés ROS (radicaux superoxyde ( $O_2^-$ ), peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ), et radicaux hydroxyl (OH)) en réponse à un stress salin (**Hernandez et al., 2000**). Les ROS causent d'importants dommages dans les lipides membranaires, les protéines et les acides nucléiques. La détoxification des ROS constitue un élément clé de défense des plantes contre les stress abiotiques dont le stress salin. Les enzymes responsables de cette détoxification nommées antioxydants incluent la superoxyde dismutase, les catalase, et des enzymes du cycle ascorbate-glutathion (**Lazrek, 2008**). Face aux dérivés réactifs d'oxygène, les plantes ont développé des mécanismes anti-oxydants enzymatiques et non-enzymatiques. Le premier mécanisme de défense contre ces dérivés est une réaction de dismutation de  $O_2^-$  en  $H_2O_2$  et  $O$ , alors que Les catalases et les peroxydases assurent la conversion de  $H_2O_2$  en  $H_2O$  et  $O_2$ . Chez les légumineuses **Wang et al. (2009)**, ont constaté l'augmentation de l'activité des enzymes antioxydantes comme mécanisme d'adaptation au stress salin. De même **Arab et Ehsanpour (2006)**, ont noté que le traitement des semences d'une légumineuse par l'acide ascorbique augmentait le niveau de tolérance au sel. D'autres auteurs ont démontré que l'augmentation de l'activité superoxyde dismutase détectée dans les nodules de l'haricot exposés à la salinité expliquait l'amélioration de tolérance vis-à-vis le stress salin (**Tejera et al., 2004**).

### 4.3.6. Régulation de croissance

Afin de survivre dans des environnements de faible disponibilité en eau tel que le milieu salin, plusieurs espèces peuvent développer leur système racinaire ce qui permet d'assurer l'approvisionnement en eau dans ces conditions. L'allongement racinaire peut être dû à une augmentation d'activité des enzymes impliquées dans la construction du cytosquelette (**Wu et al., 1994**), ou à l'accumulation de la proline (**Ober et Sharp, 1994**). Ces deux actions sont régulées par l'acide abscissique (ABA), qui est induit par le stress salin (**Jia et al., 2002**).

## **Chapitre III**

### ***Matériels et méthodes***

## 1. L'objectif de l'essai

Ce travail vise à évaluer l'impact du stress salin sur la germination et la croissance de deux variétés de lentilles cultivées (SYRIE 229 et NLE-45 ), en se basant sur l'estimation de plusieurs paramètres liés à la germination des graines et à la croissance des plantules, en vue d'identifier leur niveau de tolérance à la salinité.

## 2. Présentation du site de l'essai

L'essai a été mené au niveau de la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers de l'université 8 mai 1945 de Guelma dans des conditions semi contrôlées (au laboratoire de botanique et sous serre en plastique).

## 3. Matériel végétal

### 3. 1. Semences de lentille

Notre étude a été portée sur un matériel végétal comporte deux variétés (SYRIE 229 et NEL-45 ) appartenant à une espèce de lentille, *Lens culinaris* Medik ( $2n= 2x= 14$ ). Les variétés utilisées pour étudier l'impact de la salinité sur la germination et la croissance de la lentille ont été fournies par L'Office Algérien Interprofessionnel Des Céréales de Guelma (O.A.I.C).



**SYRIE 299**



**NEL-45**

**Figure 14 : Représente les graines des variétés testées (*Lens culinaris* Medik)**

### 3. 2. Origine et caractéristiques des variétés étudiées

Tableau 05: L'origine et les caractéristiques des variétés étudiées.

Espèce	Génotype	Origine	Source	Caractéristiques
<i>Lens culinaris</i> Medik	SYRIE 299	Introduite de Syrie	O.A.I.C de Guelma	-Précoce -Vigoureuse -Très bonne qualité
	NEL-45	Introduite	O.A.I.C de Guelma	-Semi précoce -bonne qualité -microsperma

### 4. Solution salées de Na Cl

les graines de lentille cultivée ont été traitées par cinq concentrations croissantes de NaCl : le témoin [0] mM, [50] mM, [100] mM, [150] mM et [200] mM. Le choix des concentrations a été fait en se basant sur des données des travaux de recherche testant l'effet du stress salin sur le taux de germination et les paramètres de croissance chez certaines légumineuses (Taffouo *et al.*, 2008 ; Bendire *et al.*, 2015)

### 5. Installation et conduite de l'essai

#### 5.1. Essai de germination

Les graines de deux variétés ont été désinfectées à l'eau de javel (3 % pendant 3 minutes), puis rincées abondamment à l'eau distillée pour éliminer l'eau de javel ainsi que les produits de conservation ayant adhéré à la graine. Pour faciliter et homogénéiser leur germination, les graines subissent un pré-trempe pendant 1h dans l'eau distillée puis semées dans des boîtes de pétri, contenant du coton et recouvertes d'une couche de papier filtre. Les graines sont placées dans les boîtes de pétri à raison de 10 graines par boîte et en trois répétitions par variété /traitement au sel (**Fig. 15**). Les boîtes ont été mises à la température ambiante du laboratoire. Le taux de germination final est exprimé par le rapport du nombre de graines germées sur le nombre total de graines mises à germer (**Bendire et al., 2015). La germination est repérée par la sortie de la radicule hors des téguments de la graine dont la longueur est d'au moins 2 mm (**Camara et al., 2018).****



**Variété (01) SYRIE 299**

C0V1R1	C1V1R1	C2V1R1	C3V1R3	C4V1R2
C0V1R3	C1V1R3	C2V1R2	C3V1R1	C4V1R3
C0V1R1	C1V1R2	C2V1R3	C3V1R2	C4V1R1

**Variété (2) NEL-45**

C0V2R1	C1V2R1	C2V2R1	C3V2R3	C4V2R2
C0V2R3	C1V2R3	C2V2R2	C3V2R1	C4V2R3
C0V2R1	C1V2R2	C2V2R3	C3V2R2	C4V2R1

**Figure 15: Description du dispositif expérimental de l'essai de germination dans les boîtes de petri**

**C** : concentration : **C0** : [0] mM ; **C1** : [50] mM ; **C2** : [100] mM ; **C3** : [150] mM ;

**C4** : [200] mM.

**V** : variétés : **V1**: SYRIE 229 ; **V2** : NEL-45

**R** : répétitions : R1, R2, R3.

## 5.2. Essai de croissance

L'essai sous serre a été conduit dans des pots de végétation de taille moyenne contenant chacun de la tourbe, substrat commercial fournie par le laboratoire de l'université et ses caractéristiques sont indiquées ci-dessous. Le semis a été réalisé à raison de 10 graines par pot et pour chaque concentration. Chaque variété est représentée par 15 échantillons (5 concentrations salines en trois répétitions/ variété) (**Fig. 16 et Fig. 17**).

Les pots témoins sont irrigués seulement à l'eau distillée pendant la période d'application du stress. Par contre les pots stressés reçoivent les solutions salines (50 mM, 100 mM, 150 mM et 200 mM). Le suivi de la croissance des plantules et s'étalé sur une période de 21 jours.



**Figure16: Essai de croissance dans les pots et sous serre (photo personnel)**

### Variété (1) SYRIE 299

C0V1R2	C1V1R1	C2V1R3	C3V1R1	C4V1R1
C0V1R3	C1V1R2	C2V1R2	C3V1R3	C4V1R3
C0V1R1	C1V1R3	C2V1R1	C3V1R2	C4V1R2

**Variété (2) NEL-45**

C0V2R2	C1V2R1	C2V2R1	C3V2R3	C4V2R2
C0V2R3	C1V2R3	C2V2R2	C3V2R1	C4V2R3
C0V2R1	C1V2R2	C2V2R3	C3V2R2	C4V2R1

**Figure 17: Description du dispositif expérimental de l'essai de croissance dans les pots et sous serre**

**6. Caractéristique de substrat**

Le substrat de base (tourbe de sphaigne) est caractérisé par:

- Un taux de matière sèche exprimée en pourcentage en masse de produit brute: 35%
- Un taux de matière organique exprimée en pourcentage en masse de produit brute: 35%
- PH (H<sub>2</sub>O): 5.8-6.8
- Résistivité: 25000 Ohm /cm
- Rétention en eau: 80 vol %

**7. L'irrigation**

Le stress a été appliqué pendant les deux stades germination et croissance, après avoir testé la capacité au champ du substrat (la tourbe) et pour les boîtes de pétri contenant une fine couche de coton recouverte avec du papier filtre. La quantité d'eau nécessaire à l'irrigation a été déterminée et l'irrigation a été régulièrement une fois par jours.

**8. Paramètres étudiés****8.1. Paramètres relatifs à la germination des graines****8.1.1. Essai en boîtes de pétri**

- ✓ Le taux de germination des graines(%) a été estimé après 7 jours de l'application du stress.

## 8.2. Paramètres relatifs à la croissance et le développement des plantules

### 8. 2. 1. Hauteur des plantes

La hauteur des plantes est mesurée à l'aide d'une règle graduée. Ce paramètre nous renseigne sur l'effet du stress sur la croissance des plantes stressées comparativement au témoin. Les mesures de la hauteur des plantes ont débuté 3 semaines après le début de l'irrigation à l'eau salée (**Kadri et al., 2009**), à partir du niveau du sol à la pointe de la plus longue des feuilles.

### 8.2.2. Nombre de feuilles

Le nombre de feuilles a été comptabilisé sur un sous-échantillon de 3 plantes par répétition et par traitement.

### 8.2.3. Longueur de la racine principale

Pour évaluer la croissance des plantules vis-à-vis le stress salin, la longueur de la racine principale a été déterminée en prélevant trois plantes pour chaque variété et en chaque concentration de NaCl. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un mètre ruban (cm), à partir du collet jusqu'à son extrémité inférieure.

### 8.2.5. La surface foliaire SF

La surface moyenne de la feuille la plus développée (avant dernière feuille =la plus jeune adulte feuille), est déterminée à partir d'un échantillon de dix plantules par traitement, par la formule suivante:

$$SF (cm^2) = L \times I \times 0,709$$

L: la longueur moyenne des limbes des 10 feuilles

I: la largeur moyenne des limbes des 10 feuilles

0.709 représente le coefficient de correction, étant donné que la feuille a une forme triangulaire (**Mefti et al., 2008**) .

**8.2.7. Nombre de nodules racinaires**

Les racines après être séparées de la partie aérienne sont soigneusement lavées et desséchées avec du papier filtre, puis nous avons procédé à un comptage manuel du nombre des nodules racinaires sur un sous échantillon de 10 plantes par traitement.

**9. Traitement statistique des résultats**

Afin de déterminer la significativité des traitements appliqués sur les différents paramètres étudiés, nous avons procédé à une analyse statistique de la variance et à la comparaison des moyennes pour déduire la différence entre le témoin et les différentes concentrations en utilisant le logiciel Minitab 2018.

***Chapitre Iv***

***Résultats et Discussion***

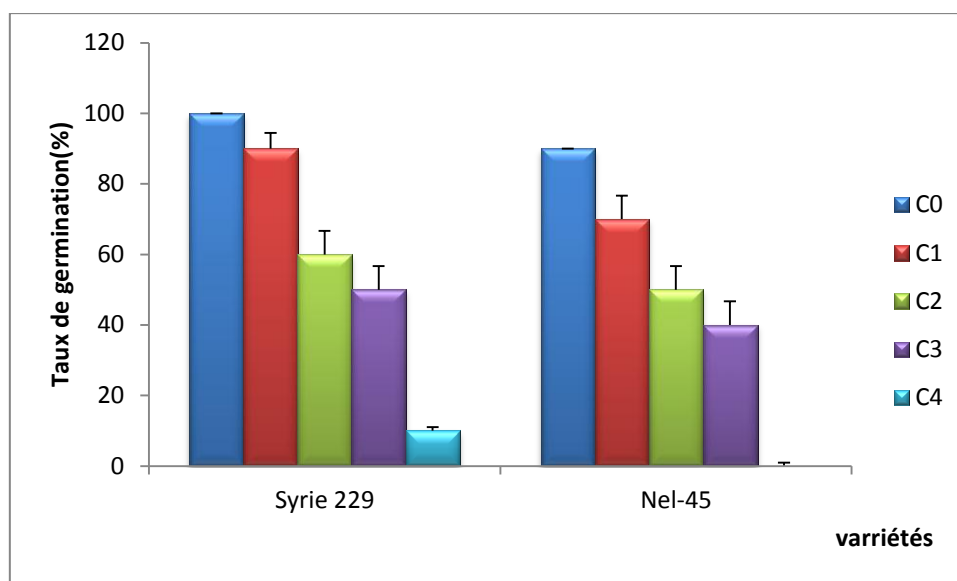
## **1. Essai de germination dans les boîtes de pétri**

### **1.1 Pourcentage de germination des graines**

L'examen de **la figure 18** indique que le stress salin quelle que soit la concentration en NaCl, diminue le taux de germination des graines des deux variétés de lentille. Le taux enregistré pour les échantillons témoins est compris entre 100% et 90%. Cependant, une diminution du taux de germination a été observée au fur et à mesure que la concentration de NaCl augmente et ce pour l'ensemble des boîtes traités par les différentes concentrations de Na Cl et chez les deux variétés étudiées. Cette diminution est plus importante aux fortes concentrations de Na Cl (150 et 200 mM) d'où les valeurs enregistrées à la concentration 200 mM sont 10% pour Syrie 229 et 0% pour NEL-45 comparativement aux témoins non traités (100 et 90% respectivement), et la variété NEL-45 est la plus affectée par rapport à l'autre variété.

Selon **Prado et al. (2000)**, la diminution du taux de germination des graines soumises à un stress salin serait due à un processus de dormance osmotique développé sous ces conditions de stress. D'autres auteurs ont constaté que la réduction du pouvoir germinatif est due à l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol, qui ralentit l'imbibition et limite l'absorption de l'eau nécessaire au déclenchement des processus métaboliques impliqués dans la germination, la salinité perturbe également les systèmes enzymatiques impliquée dans les différentes fonctions physiologiques de la graine en germination (**Slama et al., 1992**). De même **Wisle (1972)**, a révélé qu'une salinité élevée empêche les graines de germer par osmose ou par toxicité spécifique. L'effet inhibiteur de la salinité sur la germination a été observé en particulier à des concentrations élevées dans de nombreuses espèces végétales telles que la lentille.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ( $p=0.000$ ) et un effet variété et interaction non significatif ( $p>0.05$ ) (Annexes 07,08,09).



**Figure 18: Le taux de germination des deux variétés de la lentille cultivée soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)**

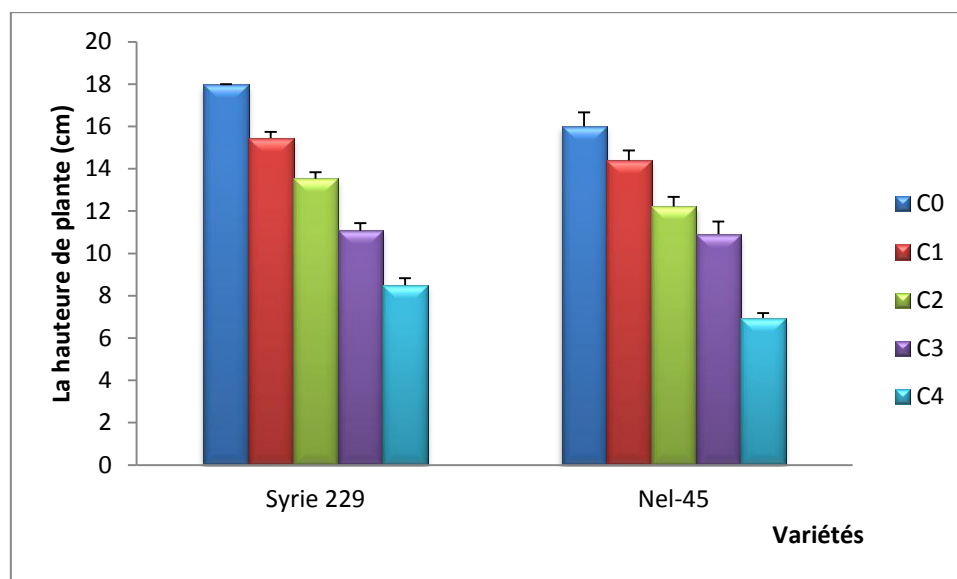
## 2. Essai de croissance et de développement des plantules dans les pots

### 2.1 Hauteur des plantes

Les résultats illustrés dans la **figure 19** représentent l'effet de la contrainte saline sur la hauteur des plantes des deux variétés de lentille testées. Ces résultats montrent que le sel a un effet inhibiteur sur ce paramètre qui se traduit par une diminution de la longueur de la tige en fonction de l'augmentation de la salinité dans le milieu. L'effet de la salinité sur la hauteur de la plante est apparent à partir de la concentration 50 mM et devient plus important à la concentration la plus élevée (200 mM) avec les valeurs moyennes enregistrées sont 8.5 cm chez la variété SYRIE 229 et 6,95cm chez la variété NEL-45 contre 18 et 16 cm chez les témoins respectivement. Des résultats similaires ont été obtenus par **Hamdoud (2012)**, sur la féverole (*Vicia faba* L.). La diminution de la croissance peut s'expliquer par une baisse de nombre de division cellulaire lors d'un stress salin ou stress hydrique (**Benmahioul et al., 2009**). De même l'étude de **Mani et Hannachi (2015)**, sur l'effet du stress salin sur le comportement physiologique du piment de Cayenne (*Capsicum frutescens*) a montré que l'ajout du NaCl dans l'eau d'irrigation a un effet inhibiteur sur la longueur de la tige surtout aux fortes concentrations de NaCl.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet Concentration significatif ( $p > 0.05$ ) et un effet variété et interaction non significatif ( $p > 0.05$ ). (Annexes 10, 11, 12).





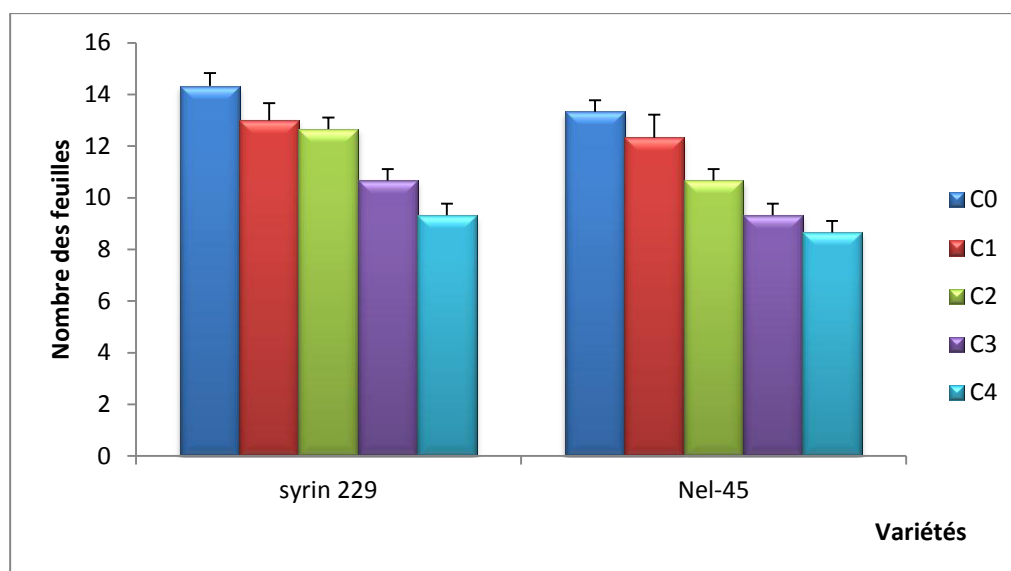
**Figure 19: La hauteur de la plante (cm) des deux variétés de la lentille cultivée  
Soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)**

## 2.2. Nombre de feuilles

Les résultats obtenus (**Fig.20**) révèlent que la salinité agit sur le nombre de feuilles chez les deux variétés de lentille étudiées. En condition témoin, le nombre enregistré est de 13 feuilles chez la variété NEL-45 et 14 feuilles chez la variété SYRIE 229. En additionnant le sel, le nombre diminue avec l'augmentation du stress. Cette diminution devient plus significative à la concentration 200 mM d'où les valeurs notées sont respectivement 8,66 et 9,33 feuilles en comparaison avec les échantillons non additionnés de sel (13 et 14 feuilles).

L'effet de la salinité sur le nombre de feuille a été prouvé par de nombreuses études, parmi lesquelles celle de **Mamadou et al., (2014)**, sur *Jatropha curcas* L. (arbuste de la famille des Euphorbiaceae originaire du Brésil) qui ont montré que le traitement salin a un effet dépressif sur le nombre de feuilles. Ces même auteurs ont rajouté que le nombre de feuilles décroît de façon significative avec l'augmentation de la concentration en NaCl comparativement aux traitements non additionnés de sel.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet Concentration significatif ( $p=0.000$ ) et un effet variété et interaction non significatif ( $p>0.05$ ) (Annexes 13, 14, 15).



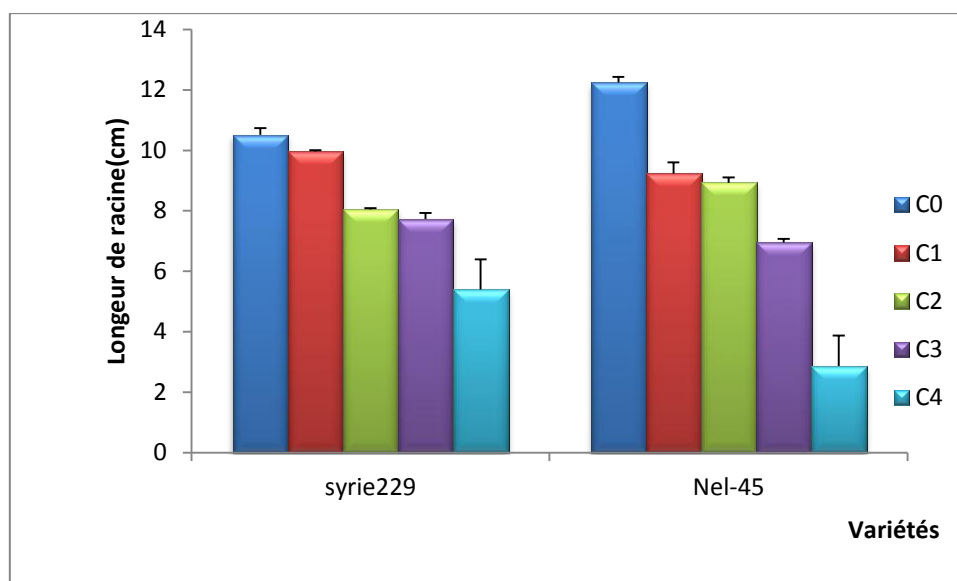
**Figure20: Le nombre de feuilles des deux variétés de la lentille cultivée soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)**

### 2.3 Longueur de la racine principale

Les résultats illustrés dans la (**Fig. 21**) montrent que la longueur de la racine principale est fortement influencée par la présence du sel dans le milieu et ce pour les deux variétés traitées par des concentrations croissantes de NaCl comparativement aux témoins. La longueur de la racine principale est diminuée avec l'intensification du stress d'où les valeurs moyennes enregistrées à la concentration 200 mM sont comprises entre 5.4 cm pour la variété SYRIE 299 et 2.87 cm pour la variété NEL-45 en comparaison avec les témoins non traités (10,51 et 12,25 cm respectivement).

L'étude de **Mani et Hannachi (2015)**, sur quelques variétés de piment cultivées dans un milieu additionné de NaCl a révélé une réduction dans la croissance de la longueur de la racine principale. Cette réduction devient plus prononcée aux fortes concentrations de sel. De même **Kadri et al. (2009)**, ont signalé que le stress salin affecte négativement la croissance du système racinaire chez des variétés d'orge. Cette croissance diminue considérablement lorsque l'intensité du stress s'accroît.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ( $p=0.000$ ) et un effet variété et interaction non significatif ( $p>0.05$ ) (Annexes 16, 17, 18).



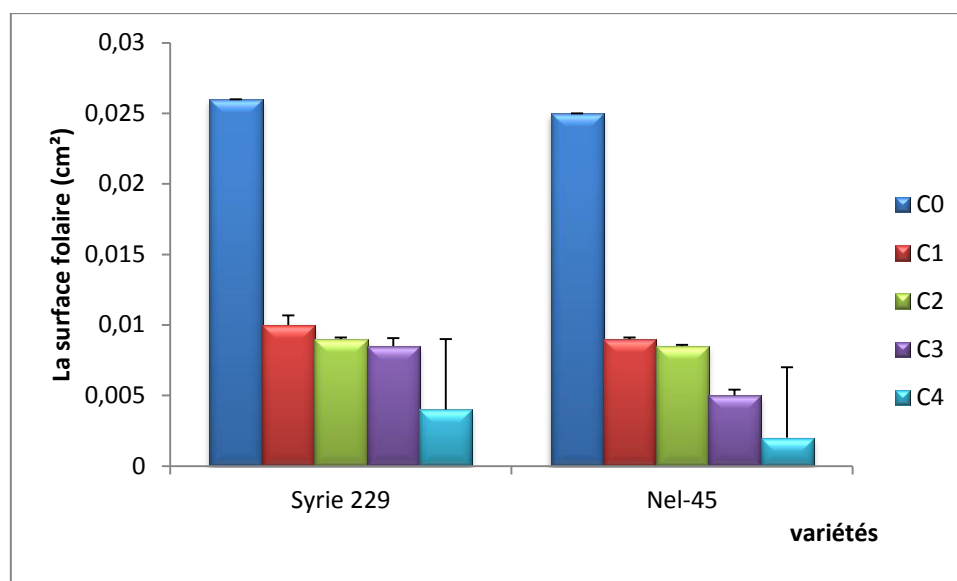
**Figure21: La longueur de la racine (cm) des deux variétés de la lentille cultivée soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)**

#### 2. 4 La surface foliaire

Les résultats de la surface foliaire sont représentés par **la figure 22**. L'examen de cette figure montre que le stress salin est à l'origine d'une diminution importante de ce paramètre chez les deux variétés étudiées et ce pour les différents niveaux de salinité. La réduction de la surface foliaire est plus prononcée chez la variété NEL-45 notamment aux fortes concentrations de NaCl d'où la valeur moyenne enregistrée à la concentration 200 mM est de 0.002 cm<sup>2</sup> contre 0.004 cm<sup>2</sup> chez la variété SYRIE 229 par rapport aux témoins non traités (0.025 et 0.026 cm<sup>2</sup> respectivement).

L'étude de **Maaouia-Houimli et al. (2011)**, a montré que la salinité a un effet très marqué sur la surface foliaire chez le blé ce qui peut être considérée comme étant une stratégie adaptative utilisée par la plante face à la contrainte saline. De même **Mamadou et al. (2014)**, ont rapporté une réduction de la surface foliaire chez quelques variétés de pois chiche et de lentille arrosées avec de l'eau salée.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ( $p=0.000$ ) et un effet variété et interaction non significatif ( $p>0.05$ ) (Annexes 19, 20, 21).

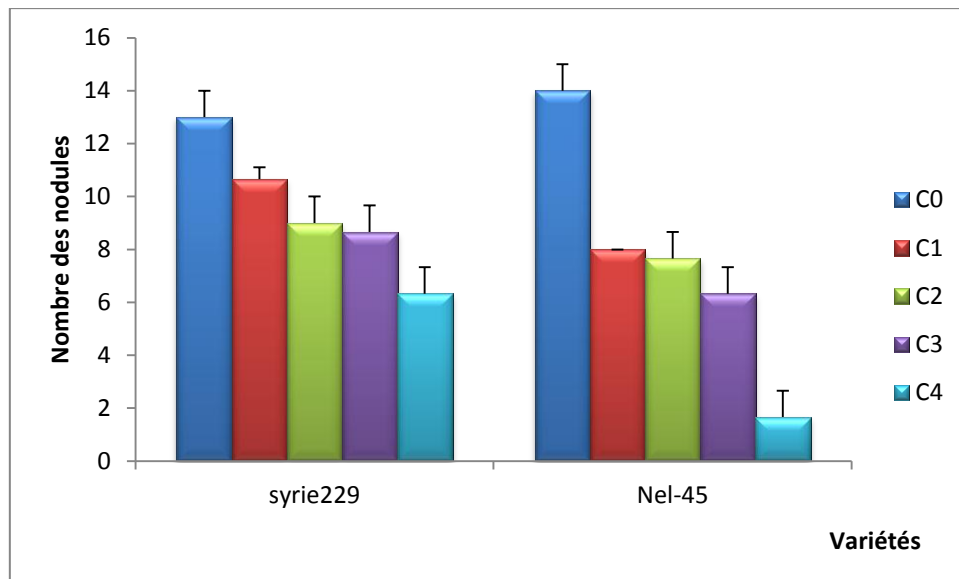


**Figure 22: La surface foliaire (cm<sup>2</sup>) des deux variétés de la lentille cultivée soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)**

### 3. Effet du stress salin sur le nombre de nodosités

Les résultats relatifs au nombre de nodosités (**Fig. 23**) aux niveaux des racines des deux variétés de la lentille cultivée dans des milieux additionnés de doses croissantes de NaCl, montrent un taux décroissant dans le nombre des nodules vis-à-vis l'intensité du stress appliqué. En comparant les témoins de chaque variété, le nombre de nodules le plus élevé est observé pour la variété NEL-45 avec 14 nodules. Ce nombre est diminué légèrement chez la variété SYRIE 229 (13 nodules). La diminution du nombre de nodules s'accroît avec l'augmentation du niveau du stress dans le milieu jusqu'à atteindre un taux de 6,33 nodules pour la variété SYRIE 229 et 1,66 nodules pour la variété NEL-45 à la concentration 200 mM. Ce résultat se concorde avec celui de **Ben Khaled et al. (2003)**, sur le trèfle et de **Teggar (2015)**, sur la lentille cultivée. D'autres études dont celle de **SaddaHah et al. (2001)**, sur Nodulation et croissance nodulaire chez le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) sous contrainte saline, montre une bonne croissance nodulaire en l'absence de sel. L'apport de NaCl dès la germination conduit à une sensibilité particulière du développement des nodules ce qui réduit leur nombre par unité de surface.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ( $p=0.000$ ) et un effet variété et interaction non significatif ( $p>0.05$ ). (Annexes 22, 23, 24).



**Figure 23: Le nombre de nodules des deux variétés de lentille cultivé soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)**

## *Conclusion*

Nous nous sommes intéressés dans notre travail à la réponse de deux variétés de lentilles cultivées (*Lens Culinaris Medik*) vis-à-vis quatre doses croissantes de NaCl, soit 50 mM, 100 mM, 150 mM et 200 mM et un traitement n'ayant pas additionné de sel constitue le témoin.

L'étude effectuée au laboratoire dans des conditions naturelles montre une action négative du sel sur le taux de germination des graines de la lentille cultivée. L'effet du sel sur la faculté germinative est plus prononcé aux fortes concentrations de NaCl, pour laquelle nous avons enregistré une diminution considérable à la concentration 200 mM .

La salinité affecte également le développement des plantules des deux variétés de lentille à travers de nombreux paramètres de croissance (hauteur des plantes, la surface foliaire, le nombre de feuilles et la longueur de la racine principale). L'effet du stress se traduit par une réduction de la croissance surtout en augmentant les concentrations de NaCl dans le milieu et ce pour les deux variétés. Cependant la variété SYRIE 299 semble être plus sensible que l'autre variété pour laquelle certains paramètres sont très affectés en comparaison avec la variété NEL-45 qui se montre la plus adaptée aux environnements salins.

D'une façon générale, nos résultats ont montré que les conditions optimales de la germination sont réalisées en milieu non salé. De même, nous avons constaté que les faibles concentrations de NaCl retardent la germination sans réduction du pourcentage final de germination tandis que les fortes concentrations (200 mM) inhibent totalement le processus germinatif. De même, il convient de signaler que l'effet du stress salin était moins prononcé pour les plantules mises en culture dans les pots; la présence d'un substrat non salé peut diminuer l'effet inhibiteur de sel sur la croissance des plantules par le phénomène de rétention des ions.

En fin et en raison des conditions épidémiologiques, nous n'avons pas pu terminer notre travail. Pour cela il serait intéressant de mener d'autres études complémentaires en testant les paramètres physiologiques (poids frais et secs des parties aériennes et souterraines...) et biochimiques (teneurs en pigments chlorophylliens, teneur en sucres solubles ...) et de suivre la cinétique de croissance pendant tout le cycle de développement de

la plante pour bien élucider l'impact de la salinité sur la croissance et le développement de la culture de la lentille.

## *Références Bibliographiques*

- Abdelbaki, G. K. F. Siefritz, H. M. Mann, H. Welner, Kaldenhoff, R. and W. M. Kaiser, 2000. Nitrate reductase in *Zea mays* L. under salinity. *Plant Cell Environ*, (23):15-521.
- Ait Haddou, M. Bousrhalb, A. Benyahiaa, H. et Benazzoouza, A. 2002. Effet du stress salin sur l'accumulation de la proline et des sucres solubles dans les feuilles de trois porte-greffes d'agrumes au Maroc. *Cirad/EDP Sciences All rights reserved*,(57): 335–340.
- Amri, M.1. Niane, A.A. Agrawal , S.K. Kemal, S.A. Hamwiah, A. et Amri, A. 2019. Principales activités des programmes d'amélioration génétique de la lentille et du pois chiche Kabuli à ICARDA. *Innovations Agronomiques*. P 15-24.
- Ashraf, M. and Foolad, M.R. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.*, 59(2): 206-216.
- Apse, M.P. and Blumwald, E. 2002. Engineering salt tolerance in plants. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 13(2): 146-150.
- Arab, L. and Ehsanpour, A. 2006. The effects of ascorbic acid on salt induced alfalfa (*Medicago sativa* L.) in vitro culture. *Biochem.*, 18: 63-69
- Arbaoui, M. Benkhelifa, M. et Belkhodja, M. 2000. Réponses physiologiques de quelques variétés de blé dur à la salinité au stade juvénile. *Option méditerranéenne*. 267-270.
- Askri, H. Rajeb, S. Jebari, H. Nahdi, H. et Rajeb, M.N. 2007. Effet du Chlorure de Sodium sur la germination des graines de 3 variétés de pastèque (*Citrullus Lanatus*). *Sécheresse*,18(1): 51-55.
- Baudoin, G.P .2001. Contribution des ressources phylogénétiques à la sélection variétale de légumineuses alimentaires tropicales. *Biotechnol. Agron. Soc.enviren.* (4):221-230.
- Belaid, D. 2017. Lentilles :méthode de culture (une fiche technique canadienne).Un aperçu sur la conduite des lentilles au Canada.Collection Brochures Agronomiques. P; 14
- Belabid, L. Fartas, Z. Dalli, D. Khiare, M. et Amdjad, D. 2000. Flétrissement et pourriture racinaire de la lentille dans le Nord-Ouest algérien. *Cahiers Agricultures*, 9: 515-8.
- Bejiga. 2006. *Lens culinaris* Medik. Fiche de Protabase. Brink, M. and Belay, G.(Editeurs). PROTA (Plant Resources of Tropical African/ Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Pays Bas.



- Brink, M. Belay, G. 2006.** Céréales et légumes secs: ressources végétales de l'Afrique tropicale. Fondation Prota, Wageningen, Pays-Bas. P:102
- Bouteyre, G. et Loyer, G.Y. 1992.** Sols salés, eaux saumâtres des régions arides tropicale et méditerranéens: principaux faciès, conséquences pour l'agriculture. Paris: ORSTOM, P: 69-80
- Calvet, R. 2003.** Le sol, propriété et fonction, phénomène physique et chimique Tom 2, Ed. France Agricole.
- Chevalier, A. 1933.** Etudes sur les prairies de l'ouest Africain. *Journal d'Agriculture Traditionnelle et de Botanique Appliqué*, 13(148): 845-892.
- Daie, J. 1988.** Mechanisms of drought induced alteration in assimilate partitioning and transport incrops. *Critical Reviews in Plant Science*, 7: 117-137.
- David, C. Duc,G. Louaran,M. 2005.** Yield variation in organic winter wheat: a dignostic study in the Southeast of France. *Agronomy for Sustainable Development*, (25): 213-223.
- Debez, A. Chaibi, J. W. et Bouzid S. 2001.** Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus* L. *Agricultures*, 10(2): 135-138
- Dita, M.A. Rispaïl, N. Prats, E. Rubiales, D. and Singh, K.B. (2006).** Biotechnology approaches to overcome biotic and abiotic stress constraints in legumes. *Euphytica*,147: 1-24.
- Duan, D. Liu, X. Ajmal khan, M. et Gul, B. 2004.** Effects of salts and water stress on germination of *Chenopodium glaucum* L. seed.- *Pack. J. Bot.*, 36(4): 793-800.
- Duchaufour, P. 1983.** Pédologie pédogénèse et classification. Ed. Masson, 491 p.
- Erskine, W. Muehlbauer, F. Saker, G. and Sharma, A. 2009.** The lenti : Botany, production and uses. CAB Internationnal, Cambridge (USA), 457 p
- FAO. 2006.** Deuxième Rapport National sur l'Etat des Ressources Phytogénétiques, INRAA. FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture).
- F.A.O, 2008.** Annuaire statistique de la FAO.
- FAOSTAT, 2011.** Base de données de l'organisation mondiale de l'agriculture et de l'alimentation [www.faostat.org/chickpea/stat.cal](http://www.faostat.org/chickpea/stat.cal)
- FAOSTAT-Agriculture, 2011.** Food and agricultural commodities production. Food and agriculture organization, Rome.

- **Farissi, M. Bouizgaren, A. Faghire, M. Bargaz, A. and Ghoulam C.** 2011. Agro-physiological responses of Moroccan alfalfa (*Medicago sativa* L.) populations to salt stress during germination and early seedling stages. *Seed Sci. Technol.*, 39: 389- 401.
- Farissi, M. Aziz, F. Bouizgaren, A. and Ghoulam, C.** 2014. La symbiose Légumineuses-rhizobia sous conditions de salinité: Aspect Agro-physiologique et biochimique de la tolérance . *International Journal of Innovation and Scientific Research*, (11): 96-104.
- **Farissi, M. Bouizgaren, A. Aziz, F. Faghire, M. and Ghoulam, C.** 2014. Isolation and screening of rhizobial strains nodulating alfalfa for their tolerance to some environmental stresses. *PJAR.*, (2): 9-19.
- Lazrek, F. et Benfriha.** 2008 Analyse de la diversité génétique et symbiotique des populations naturelles tunisiennes de *Medicago truncatula* et recherche de QTL liés au stress salin. Ecole Doctorale Biologie-Sante-Biotechnologies, P: 103-105.
- Flores, P. Botella, M.A. Martinez, V. Cedra, A.** 2000. Ionic and osmotic effects on nitrate reductase activity in tomato seedlings. *J. Plant Physiol.*, (156): 552-557.
- **Jia, W. Wang, H. Zhang, C.H. and Zhang, J.** 2002. Salt-stress-induced ABA accumulation is more sensitively triggered in roots than in shoots. *J. Exp. Bot.*, (53): 2201-2206
- Jones, R. et Jones, A.** 1989. Prevention of salt induced epinasty by alpha-aminooxyacetic acid and cobalt. *Plant Growth Reg.* (8): 315–323.
- Hamza, M.** 1980. Réponses des plantes à la salinité. *Physiol. Vég.* 13: 69-81.
- Hanana, M. Hamrouni, L. Cagnac, O. et Blumwald, E.** 2011. Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Les Presses Scientifiques du CNRC.* (19): 121-140.
- 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.
- Hernandez, J.A. Ferrer, M.A. Jimenez, A. Barcelo, A.R. and Sevilla, F.**2001. Antioxydant systems and O<sub>2</sub>-/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> production in the apoplast of pea leaves. It's relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins. *Plant Physiol.*, (127): 817-831.
- Hopkins, W.G.** 2003. *Physiologie végétale.* Traduction de la 2<sup>ème</sup> édition américaine par - Serge R. Ed. De Boeck, p. 66-81.

**-Institut national des sols, de l'irrigation et du drainage 2008.**

**-ITGC, 2013.** la culture de lentille (*Lens culinaris*)

**-Gahoonia ,T. S. Omar, A. Sarker .Matiur . Rahman , M 2009.** Root traits location grain yield ans benefit\_cost ration of two lentil (*Lens culinaris* Medikus) varieties , plant ans soil 272(1\_2),153\_161

**-Geetanjali. M, et Neera, G. 2008.** Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta. Physiol. Plant.* 30:595–618.

**- Greenway, H. et Munns, R. 1980.** Mechanisms of salt tolerance in non halophytes. *Ann, Rev, Plant Physiol,* (31): 149-190.

**-Grusak, N. 2009.** Golden rice is an effective source of vitamine. *A* 89(6).322

**- Karoune, S. Kechebar, M.S.A. Halis, Y. Djellouli, A. et Rahmoune, C. 2017.** Effet du stress salin sur la morphologie, la physiologie et la biochimie de l'*Acacia albida*. *Journal Algérien des Régions Arides,* (14): 60 -73.

**-Katembe, W. J. Ungaria. E. and Mitchell J.P. 1998.** Effect of Salinity on germination and seedling growth of two *Atriplex* species *Chenopodiaceae*. *Ann Bot.,* 82:165

**-Lallemand, A. 1980.** Aménagement des sols salés irrigation avec des eaux salées. Bureau de Recherches Géologiques et Minières. 80 SGN 922 Eau, Orléans Cedex.

**- Lassana, D. 1991.** Contribution a l'étude de la résistance de quelques espèces fourragères aux phénomènes de salinisation/ alcalinisation. Thèse ingénieur en agriculture, Institut polytechnique rural de Katibougou, Mali, 13p

**-Levigneron, A. Lopez, F. Varisuyt, G. Berthomien, P. et Casse-Delbar, T. 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahier d'agriculture,* (4): 263-273.

**-Levitt, J. (1980).** Responses of plant to environmental stress Chilling, reezing and high temperature Stresses, 2 nd. ed. Ed. Academic Press, New York, 510 P.

**-Mamadou, O. Dinesh, K. Mayecor, D. Subhash, N. et Tahir, D. 2014.** Effet de la salinité sur la croissance et la production de biomasse de deux provenances de *Jatropha curcas* L. cultivés en serre. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8(1): 46-56

**-Mabsoutel, L. et Saadaou, E.M. 1996.** Acquis de recherche sur le parasitisme des légumineuses alimentaires au Maroc: synthèse bibliographique. *Al awamia,* (92): 55-67.

- Meloni, D.A. Oliva, M.A. Ruiz, H.A. Martinez, C.A. 2001. Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant Nutr.* (24): 599-612.
- Farissi, M. Aziz, F. Bouizgaren, A. et Ghoulam, C. 2014. La symbiose Légumineuses-rhizobia sous conditions de salinité : Aspect Agro-physiologique et biochimique de la tolérance. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, (11): 96-104.
- Muehlbauer, F. and Tullu, A. 1997. New crop fact sheet: chickpea *Cicer arietinum* L. Available at: <http://hort.purdue.edu/newcrop/crops/cropfactsheets/chickpea.html>
- Munns, R. Termaat, A. 1986. Whole plant responses to salinity. *Aust J Plant Physiol.* (13):143-160.
- Munns, R. and Rawson, H.M. 1999. Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 459-464.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ*, (25): 239-250.
- Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.* 167(3): 645-663.
- Munns, R. James, R.A. and Lauchli, A. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot.*, (57): 1025-1043.
- Mylona, P. Pawlowski, K. Bisseling, T. 1995. Symbiotic nitrogen fixation. *Plant Cell*, (7): 869-885.
- Nabi, F. 2009. Effet de la salinité sur la germination, la croissance et les composantes du rendement du *Vigna unguiculata* L. (Walp.). Mémoire de Magister en Biotechnologie végétale. Ecole Nationale Supérieure Agronomique D'El Harrach (Alger), 133 p.
- Ober, E.S. Sharp, R.E. 1994. Proline accumulation in maize (*Zea Mays* L.) primary roots at low water potentials.I. Requirement for increased levels of abscisic acid. *Plant Physiol.* (105): 981-987.
- Parida, A.K. and Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effect on plants. *Review Ecotoxicology and Environmental Safety*, (60): 324-349.

- **Pinochet, J. Freire, I. et Schrank, K. 2006.** Isolation and characterization of variants of *Rhizobium leguminosarum* by phaseoli. *Mircen journal*, (3): 289-295.
- Ramade, S. 2003.** Élément d'écologie, Écologie fondamentale. 3eme édition, ed. Dunod. p 690
- Robert, M. (1996).** Le sol interface dans l'environnement ressource pour le développement. ed. Masson. Versailles (France),245p
- Saskatchewan, Pulse Growers, 2000.** Pulse production manual. Saskatchewan Pulse Growers, Saskatoon SK.
- Saskatchewan, 2002.** Lentil in Saskatchewan. Saskatchewan Agriculture and Food, Regina.
- Schawartz, H.F. and Langham, M.A.C. 2012.** Grows stage of lentil. Disponible sur internet: <http://legume.ipmpipe.org>.
- Shrivastava, P. et Kumar, R. 2015.** Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi J. Biol. Sci.* 22: 123-131.
- Soffih, M. 2017.** Contribution au diagnostic de l'état de salinisation des sols de la plaine d'el hmadena. Mémoire de master en Agronomie. Université de Mostaganem, 117 p.
- Souci, S. W. Fachmann,W. et Kraut, H. 2008.** La composition des aliments: Tableaux des valeurs nutritives, 7e édition, Med Pharm Scientific Publishers, 1300 p.
- Tanji, K.K. 2004.** Salinity in the soil environment. Salinity: environment-plants-molecules, Ed. Kluwer Academic Publishers, Book, 21-51p.
- Tejera, N.A. Campos, R. Sanjuan, J. and Lluch, C. 2004.** Nitrogenase and antioxidant enzyme activities in *Phaseolus vulgaris* nodules formed by *Rhizobium tropici* isogenic strains with varying tolerance to salt stress. *J. Plant. Physiol.*, (161): 329-338.
- Teggar, N. 2015.** Etude de l'effet du stress salin sur la nodulation et sur quelques paramètres bochimiques et morphologiques de la lentille (*lens culinaris L*) mémoire de Magister en Ecophysiologie végétale. Université d'Oran, 68 p.
- Botanica..ISBN/ 978-3-8480-0286-3.**Botanica : Encyclopédie de botanique et d'horticulture, plus de 10 000 plantes du monde entier (Français) Broché .E.D. **Ulman 2013**

- **Vandenberg, A. et Slinkard, A.E. 1990.** Genetics of seed coats color and pattern in lentil. *Journal of Heredity*, (81): 484-488.
- **Voisin, A.S. Guéguen, J. Jeuffroy, M.H. Benoit Magrini, M. Marc Meynard, j. Mougel, C. Pellerin, S. et Pelzer, E. 2014.** Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, (34): 361–380
- **Wang, Y. and Nil, N. 2000.** Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, (75): 623-627.
- **Wiebe, B.H. Eilers, R.G. Eilers, W.D. et Brierley, J.A., 2001.** Risque de salinisation du sol, l'agriculture écologiquement durable au Canada : série sur les indicateurs agroenvironnementaux- Rapport N°2. .
- **White, P.R, et Nackoney, N. 2003.** Drylands, people, and ecosystem goods and services: a web-based geospatial analysis. World Resources Institute. Washington, 58 p
- **Wu, Y. Spollen, W.G. Sharp, R.E. Hetherington, P.R. Fry, S.C. 1994.** Root growth maintenance at low water potentials increased activity activity of xyloglucan endotransglycosylase and it's possible regulation by abscisic acid. *Plant Physiol.*, (106): 607-615..
- **Wyn Jones, R.G. Gorham, J. and McDonnell, E. 1984.** Organic and inorganic solute contents as selection criteria for salt tolerance in the Triticeae. Dans *Salinity tolerance in plants: Strategies for crop improvement.* Wiley and Sons, New York. p. 189-203.
- **Yancey, P.H. 1994.** Compatible and counteracting solutes dans *Cellular and molecular physiology of cell volume regulation.* CRC Press, Boca Raton, Fla. p. 82-109.
- **Yunnus, A. G. and Jackson, M.T. 1991.** Thé gène pools of thé Grasspea. *Plant Breeding* 106 (4): 319-328.
- **ZHU, J.K. 2001.** Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, 2(6): 66- 71.
- **Zhu, J.K. 2002.** Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Biol* (53): 247-273
- **Zhu, J. K. 2003.** Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant B.iology*, (6): 441-445.
- **Zribi, L. Gharbi, F. Rezgui, F. Rejeb, S. Nahdi, H. et Rejeb, M.N. 2008.** Effets du stress salin sur la croissance et sur les mécanismes de photoprotection chez la tomate. *Annales de l'Inrgref*, (11): 189-202.

## *Site Web*

- (1) <http://www.elmoudjahid.com/fr/> (consulté le 23\11\2019)
- (2) <https://www.topsante.com/nutrition> (consulté le 10\01\2020)
- (03) <http://www.afrik.com/lentilles> (consulté le 19\04\2020)
- (04) <Http://www.tela-botanica.org/> (consulté le 18\06\2020)
- (05) <Http://www.lentilles-vertes-du-gers.fr> (consulté le 03\12\2019)
- (06) <www.La-lentille-verte.dupuy.com> (consulté le 30\05\2020)
- (7) <https://agronomie.info/fr/cycle-biologique-de-lens-culinaris/>.(Consulté le 16\09\2020)
- (08) <https://agronomie.info/fr> (consulté le 15\02\2020)
- (09) <https://jardinage.lemonde.fr/> (consulté le 28\03\2020)
- (10)<https://www.terresinovia.fr/>(consulté le 17\07\2020)
- (11)<https://www.terre-net.fr/> / (consulté le 14\01\2020)
- (12) <https://www.terresinovia.fr/-/ravageurs-de-la-lentille> (consulté le 23\03\2020)
- (13)<https://agronomie.info/fr/repartition-geographique-des-orthopteres/amp/>( consulté le 16\08\2020)

# *Annexes*



**Tableau 01:** Pourcentage de germination (%) des deux variétés de lentille soumises aux différentes concentrations de Na Cl (Mm).

concentrations	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Variété					
Syrie 299	100	90	60	50	10
NEL-45	90	70	50	40	0

**Tableau 02:** La hauteur des plantes (cm) des deux variétés de lentille soumises aux différentes concentrations de Na Cl (Mm)

concentrations	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Variété					
Syrie 299	18	15.46	13.53	11.07	8.5
NEL-45	16	14.39	12.22	10.91	6.95

**Tableau 03:** Le nombre de feuilles des deux variétés de lentille soumises aux différentes concentrations de Na Cl (Mm)

concentrations	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 Mm
Variété					
Syrie 299	14.33	13	12.66	10.66	9.33
NEL-45	13.33	12.33	10.66	9.33	8.66

**Tableau 04:** La longueur de la racine principale (cm) des deux variétés de lentille soumises aux différentes concentrations de Na Cl (Mm)

concentrations	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Variété					
Syrie 299	10.51	9.96	8.05	7.73	5.4
NEL-45	12.25	9.23	8.93	6.69	2.87

**Tableau 05:** La surface foliaire (cm<sup>2</sup>) des deux variétés de lentille soumises aux différentes concentrations de Na Cl (Mm)

concentrations	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Variété					
Syrie 299	0.26	0.01	0.09	0.0085	0.004
NEL-45	0.25	0.09	0.0085	0.005	0.002

**Tableau 06:** Le nombre de nodules des deux variétés de lentille soumises aux différentes concentrations de Na Cl (Mm).

concentrations	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Variété					
Syrie 299	13	10.66	9	8.66	6.66
NEL-45	14	8	7.66	6.33	1.66

**Analyse statistique (Analyse de la variance à deux critères concentration/variétés)****1. Analyse de la variance de la germination des graines****Tableau 07:** Analyse de la variance de la variété 01 (Syrie 299) à un facteur (la concentration)

Source	DL	CM	Valeur F	Valeur de p
Concentrations	04	4376,67	93,79	0.000 S
Erreur	10	46,67		
Total	14			

**Tableau 08:** Analyse de la variance de la variété 02 (NEL-45) à un facteur (La concentration)

Source	DL	CM	Valeur F	Valeur de p
Concentrations	04	3450,00	57,50	0.000 S
Erreur	10	60,00		
Total	14			

**Tableau 09:** Analyse de la variance des deux variétés (NEL-45 et Syrie 299) à un facteur (la variété)

Source	DL	CM	Valeur F	Valeur de p
--------	----	----	----------	-------------

<b>Variété</b>	01	563,3	0,49	0,491 N.S
<b>Erreur</b>	28	1156,2		
<b>Total</b>	29			

## 2. Analyse de la variance de la hauteur des plantes

**Tableau 10:** Analyse de la variance de la variété 01 (Syrie 299) à un facteur (la concentration)

<b>Source</b>	<b>DL</b>	<b>CM</b>	<b>Valeur F</b>	<b>Valeur de p</b>
<b>Concentrations</b>	4	41,8243	246,03	0,000 S
<b>Erreur</b>	10	0,1700		
<b>Total</b>	14			

**Tableau 11:** Analyse de la variance de la variété 02 (NEL-45) à un facteur (la concentration)

<b>Source</b>	<b>DL</b>	<b>CM</b>	<b>Valeur F</b>	<b>Valeur de p</b>
<b>Concentrations</b>	04	33,8057	49,91	0.000 S
<b>Erreur</b>	10	0,6773		
<b>Total</b>	14			

**Tableau 12:** Analyse de la variance des deux variétés (NEL-45 et Syrie 299) à un facteur (la variété)

Source	DL	CM	Valeur F	Valeur de p
Variété	01	16,28	1,47	0,236 <b>N.S</b>
Erreur	28	11,11		
Total	29			

### 3. Analyse de la variance du nombre de feuilles

**Tableau 13:** Analyse de la variance de la variété 01 (Syrie 299) à un facteur (la concentration)

Source	DL	CM	Valeur F	Valeur de p
Concentrations	04	11,5667	623.33	0.000 <b>S</b>
Erreur	10	0,4667		
Total	14			

**Tableau 14:** Analyse de la variance de la variété 02 (NEL-45) à un facteur (la concentration)

Source	DL	CM	Valeur F	Valeur de p
Concentrations	04	11,6000	21,75	0.000 <b>S</b>

<b>Erreur</b>	10	0,5333		
<b>Total</b>	14			

**Tableau 15:** Analyse de la variance des deux variétés (NEL-45 et Syrie 299) à un facteur (la variété)

<b>Source</b>	<b>DL</b>	<b>CM</b>	<b>Valeur F</b>	<b>Valeur de p</b>
<b>Variété</b>	01	8,533	2,33	0,138 N.S
<b>Erreur</b>	28	3,667		
<b>Total</b>	29			

#### 4. Analyse de la variance de la longueur de la racine principale

**Tableau 16 :** Analyse de la variance de la variété 01 (Syrie 299) à un facteur (la concentration)

<b>Source</b>	<b>DL</b>	<b>CM</b>	<b>Valeur F</b>	<b>Valeur de p</b>
<b>Concentrations</b>	04	13,5373	182,94	0.000 S
<b>Erreur</b>	10	0,0740		
<b>Total</b>	14			

**Tableau 17 :** Analyse de la variance de la variété 02 (NEL-45) à un facteur (la concentration)

Source	DL	CM	Valeur F	Valeur de p
Concentrations	04	36,0560	378,21	0.000 S
Erreur	10	0,0953		
Total	14			

**Tableau 18:** Analyse de la variance des deux variétés (NEL-45 et Syrie 299) à un facteur (la variété)

Source	DL	CM	Valeur F	Valeur de p
Variété	01	0,8003	0,11	0,740 N.S
Erreur	28	7,1452		
Total	29			

### 5. Analyse de la variance de la surface foliaire

**Tableau 19 :** Analyse de la variance de la variété 01 (Syrie 299) à un facteur (la concentration)

Source	DL	CM	Valeur F	Valeur de p
Concentrations	04	0,000208	623.33	0.000 S

<b>Erreur</b>	10	0.000000		
<b>Total</b>	14			

**Tableau 20:** Analyse de la variance de la variété 02 (NEL-45) à un facteur (la concentration)

<b>Source</b>	<b>DL</b>	<b>CM</b>	<b>Valeur F</b>	<b>Valeur de p</b>
<b>Concentrations</b>	04	0,035694	163735,27	0.000 S
<b>Erreur</b>	10	0.000000		
<b>Total</b>	14			

**Tableau 21:** Analyse de la variance des deux variétés (NEL-45 et Syrie 299) à un facteur (la variété)

<b>Source</b>	<b>DL</b>	<b>CM</b>	<b>Valeur F</b>	<b>Valeur de p</b>
<b>Variété</b>	01	0,013855	2,70	0.111 N.S
<b>Erreur</b>	28	0,005129		
<b>Total</b>	29			



## 6. Analyse de la variance du nombre de nodules

**Tableau 22** : Analyse de la variance de la variété 01 (Syrie 299) à un facteur (la concentration)

Source	DL	CM	Valeur F	Valeur de p
Concentrations	4	18,4333	92,17	0,000 S
Erreur	10	0,2000		
Total	14			

**Tableau 23** : Analyse de la variance de la variété 02 (NEL-45) à un facteur (la concentration)

Source	DL	CM	Valeur F	Valeur de p
Concentrations	04	58,4333	292,17	0.000 S
Erreur	10	0,2000		
Total	14			

**Tableau 24** : Analyse de la variance des deux variétés (NEL-45 et Syrie 299) à un facteur (la variété)

Source	DL	CM	Valeur F	Valeur de p
Variété	01	30,00	2,70	0,112 N.S

<b>Erreur</b>	28	11,12		
<b>Total</b>	29			