

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

N° Ref :



Centre Universitaire Abdelhafid boussouf-Mila

Institut des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

**Mémoire préparé En vue de l'obtention du diplôme de
Master**

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Biotechnologie Végétale
Thème :

**Etude de l'effet de la salinité sur la
germination et l'anatomie de *Peganum
harmala* L.**

Préparé par:

Lakehal Fedwa

Zouaghi Wissame

Devant le jury composé de :

Président : Zarafa Chafia

Examinatrice : Belfethi Leila

Promotrice : Melle Bouassaba Karima

Grade : MCB

Grade : MAA

Grade : MCA

Année Universitaire: 2025/2026

Remerciements

En tout premier lieu, nous remercions Allah, tout Puissant, qui nous A éclairés le bon chemin et qui nous a Aidés à réaliser ce travail dans les meilleures Conditions.

*Nous désirons exprimer notre profonde et vive reconnaissance à notre encadreur, melle **Bouassaba Karima***

Qui A mis toute sa compétence à notre disposition, pour ces directives et conseils judicieux et pour son suivi régulier à l'élaboration de ce travail.

*Nous remercions les membres du jury : **Mme Zarafa Chafia** et Mme **Belfethi Leila** d'avoir Accepté de juger notre Travail.*

Nous voudrions aussi exprimer toute notre gratitude et nos remerciements à tous les enseignants pour leurs orientations et conseils.

Nous remercions également tous les membres de laboratoire qui nous ont Aidés à réaliser ce travail.

Nos derniers remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'Aboutissement de ce travail.

Fedwa 8 Wissame

Dédicace

Louange à Dieu qui m'a aidé et accordé la réussite pour accomplir ce travail.

À Lui reviennent les remerciements en premier et en dernier.

Je dédie cette réalisation :

*À **ma chère mère Hassina**, toi que les mots du monde entier ne sauraient remercier comme il se doit, je dédie ce modeste travail. Chaque réussite est le reflet de tes sacrifices, de ta patience et de tes longues veilles pour moi.*

*À **mon cher père Abd elmalik**, père idéal, modèle que je suis, et abri face aux épreuves de la vie, je te dédie cette réussite en signe de gratitude et de fidélité, pour ton soutien inconditionnel et ta sagesse qui a guidé mon chemin.*

*À **mes chers sœurs : Radja, Basma, Safa et Chaima**, vous êtes la famille dont je suis fière, les compagnons qui ont dessiné avec moi les plus beaux souvenirs de l'enfance et de la jeunesse.*

*À **mon cher fiancé Ramzi**, compagnon de l'âme et de la route, qui a cru en moi quand j'étais à bout, et m'a encouragée lorsque j'ai douté, je dédie ce mémoire comme témoignage d'amour et de fidélité, car tu as toujours été mon soutien.*

*À **ma chère amie Wissame**, qui m'a soutenue dans toutes les circonstances, et a été mon refuge dans les moments de surcharge,*

*À **ma chère Amani**, l'amie fidèle, qui a partagé avec moi les instants de fatigue et de joie.*

*À **vous tous**, je dédie ce travail, non pas comme la fin d'un parcours, mais comme le début d'un rêve que vous avez construit avec moi, et dont vous êtes une part inoubliable.*

Fedwa

Dédicace

Louange à Dieu tout puissant, pour sa miséricorde. C'est lui qui m'a donné la connaissance, guidés et protégés qui m'a accordé la force, la santé, la patience et la lumière sur le chemin du savoir pour réaliser ce travail.

Mes premiers maîtres,

*À l'amour de ma vie, ma chère mère **Laila** ma source d'amour et de tendresse, pour ses prières, son soutien silencieux, ses sacrifices quotidiens et sa patience infinie. Maman, tu es la lumière de ma vie, autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi et cette réussite est aussi la tienne.*

*À mon cher père, **Achour**, pour sa force, ses conseils, son exemple et son amour constant. Papa, tu as toujours cru en moi, même quand moi je doutais. Que ce travail, soit pour vous, un faible témoignage de ma profonde affection et tendresse. Qu'ALLAH le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur et te protège de tout mal. Je te rends hommage avec tout mon respect et toute mon affection je t'aime.*

*À mes frères **Mohammed Fatih** et **Iyad**, à la prunelle de mes yeux, mes compagnons de vie, pour leur soutien, leurs encouragements et leur présence discrète, toujours là à leur manière.*

*À ma tante **Zakia**, pour sa bonté, sa générosité et ses encouragements sincères.*

*À ma chère copine **Fedwa**, ma moitié, d'être là pour moi pour son amour, sa présence réconfortante. Ta tendresse et ton soutien ont été précieux dans ma vie.*

*À mes amies **Amani**, **Amani** et **Wissal**, pour les souvenirs partagés, le soutien mutuel et les moments d'amitié qui m'ont aidé à avancer.*

À ma famille entière, du côté de mon père et de ma mère, pour leur affection, leurs prières et leur confiance.

À tous mes enseignants, de l'école primaire à l'université, pour leur dévouement et les graines de savoir qu'ils ont semées en moi, cette modeste réalisation est le fruit de votre présence dans ma vie. Merci à vous, de tout cœur.

Wissame

Sommaire



Sommaire :

Remerciements

Dédicace

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures et tableaux

Résumé

Introduction 1-4

Chapitre I. Présentation de plante étudiée

1. Historique Zygophyllaceae.....	6
2. Généralités sur <i>Peganum harmala</i> L.....	6
3. Description botanique	7
3.1. Les feuilles.	8
3.2. Les fleurs	9
3.3. Les fruits.....	9
3.4. Les graines	10
3.5. Les racines	11
3.6. Les tiges.	11
4. Classification botanique	11
5. Origine et l'habitat de <i>Peganum harmala</i> L.....	12
6. La composition chimique.....	13
7. Importance et usage	14
7.1. Les utilisations en médecine traditionnelle.....	15
7.2. Les utilisations pharmaceutiques.....	16
7.2.1. Effets anti-inflammatoires.	16
7.2.2 Effets sur le système nerveux	16
7.2.3 Effets antiviraux.....	16
7.2.4 Effets antibactériens.	17
7.2.5 Protection contre les radiations	17
8. Toxicité.	17

Chapitre II. Le stress salin

1. Notion de stress.	19
1.1. Catégories de stress	19
1.1.1. Stress biotique.....	19

1.1.2. Stress abiotique.....	19
2. Salinité et stress salin.	20
2.1. Définition de stress salin.....	20
2.2. Généralités sur la salinité.....	20
2.3. Définition de la salinité.....	21
2.4. Types de salinité des sols.....	21
2.4.1. Salinité primaire.....	21
2.4.2. Salinisation secondaire.....	21
2.5. Les composantes de la salinité.....	22
2.5.1. Le stress hydrique.	22
2.5.2. Le stress ionique.	22
2.5.3. Le stress nutritionnel.	23
2.6. Importance de la salinité.....	23
2.7. L'importance des halophytes	24
2.8. Origines et causes de la salinité	24
2.8.1. Les sols salés	25
2.8.2. Les eaux salines	26
2.9. Les risques liés à la salinité.....	27
2.10. La salinité dans le monde et en Algérie.....	28
2.10.1. La salinité dans le monde.	28
2.10.2. La salinité en Algérie	29
3. Effet de la salinité sur la plante	29
3.1. Effet de la salinité sur la germination.....	30
3.1.1. Définition de la germination.....	30
3.1.2. Types de germination.	30
3.1.3. Conditions de la germination.....	30
3.1.4. Morphologie et physiologie des graines en la germination.....	31
3.1.5. Différent obstacles de la germination.....	32
3.1.6. Effet de la salinité sur la germination.....	32
3.2. Effet de salinité sur la croissance et le développement.	33
3.3. Effet de la salinité sur l'eau dans la plante	33
3.4. Effets de la salinité sur l'absorption.....	34

3.5. Effets de la salinité sur la translocation.....	34
3.6. Effets de la salinité sur le taux des ions	35
3.7. Effets de la salinité sur la photosynthèse	35
3.8. Effets de la salinité sur les enzymes antioxydantes.....	36
3.9. Effets de la salinité sur le métabolisme de l'azote.....	37
3.10. Effets de la salinité sur les pigments photosynthétiques et les protéines.....	37
3.11. Effets de la salinité sur l'ultrastructure du chloroplaste.....	38
4. Mécanismes d'adaptation à la salinité	38
4.1. Adaptations morphologiques.....	38
4.2. Adaptations anatomiques.....	38

Partie Expérimentale

Chapitre I. Matériel et méthodes

1. Objectif.....	42
2. Matériel végétal	42
3. Méthode de travail	42
3.1. Préparer des solutions saline à une différente concentration	42
3.2. Préparation des graines de <i>Peganum harmala</i> L.....	43
3.3. Protocole de germination.....	44
3.4. Paramètres étudiés.....	46
3.4.1. Taux de germination final (G %).....	46
3.4.2. La vitesse de germination (VG%).....	46
3.5. Lieu de la zone de prélèvement.....	46
3.6. Substrat utilisé et conditions expérimentales	46
3.7. Méthodologie.....	47
3.8. Disposition expérimentale.....	47
3.9. Paramètres étudiés.....	48
3.9.1. Longueur de la racine (cm).....	48
3.9.2. Longueur de la tige (cm)	48
3.9.3. Nombre de feuilles	48
3.9.4. La masse fraîche (g).....	48
3.9.5. La masse sèche (g).....	49
3.10. Etude anatomique.....	49

3.11. Analyse statistique.....	50
--------------------------------	----

Chapitre II. Résultat et discussion

1. Résultat.....	52
1.1. Taux de germination final.....	52
1.2. La vitesse de germination.....	53
1.3. Effet de la solution saline sur la germination des graines de <i>Peganum harmala</i> L.....	54
1.4. Les effets de salinité sur le nombre des feuilles.....	57
1.5. Les effets de salinité sur la longueur des tiges.....	58
1.6. Les effets de salinité sur la longueur des racines	59
1.7. Les effets de salinité sur la masse fraîche et la masse sèche	60
1.8. Corrélation entre les paramètres morphologiques de <i>Peganum harmala</i> L testés dans les conditions salines	62
1.9. Effet de la solution saline sur le développement des graines de <i>Peganum harmala</i> L.....	63
1.10. Effet de la salinité sur l'anatomie de la feuille de <i>Peganum harmala</i> L.....	65
1.11. Effet de la salinité sur l'anatomie de la racine de <i>Peganum harmala</i> L	68
2. Discussion.....	71
2.1. Effets de sénilité sur les paramètres physiologiques.	71
2.2. Effets de sénilité sur les paramètres morphologiques.....	72
2.3. Effets anatomiques du stress salin sur les feuilles et les racines.....	73

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes

Liste des abréviations :

C° : Degrée Celsius.

% : Pourcentage.

g/l : gramme par litre.

G/J : graine par jour.

g : gramme.

Cm : Centimètre.

TG : Taux de germination finale.

VG : vitesse de germination.

NF : Nombre des feuilles.

LT : Longueur de tige.

LR : Longueur de racine.

MF (PF) : La masse fraîche.

MS (PS) : La masse sèche.

Ca²⁺ : Calcium.

Na⁺ : sodium.

Cl⁻ : Chlorure.

Mg²⁺ : magnésium.

K⁺ : potassium.

SO₄²⁻ : Sulfate.

HCO₃⁻ : Hydrogénocarbonate ou bicarbonate.

CO₃²⁻ : carbonate.

NO₃⁻ : nitrate.

NaCl : Chlorure de sodium.

FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

L. : Lineé

Liste des figures :

Figure 01 : Plante de <i>Peganum harmala</i> L.....	8
Figure 02 : Les feuilles de la plante <i>Peganum harmala</i> L	9
Figure 03 : Les fleurs de <i>Peganum harmala</i> L	9
Figure 04 : Les fruits de <i>Peganum harmala</i> L.....	10
Figure 05 : Les graines de <i>Peganum harmala</i> L.....	11
Figure 06 : les graines de <i>Peganum harmala</i> L.	42
Figure 07 : Les solutions saline à une différente concentration.....	43
Figure 08 : les étapes de la préparation des graines <i>Peganum harmala</i> L	44
Figure 09 : Protocole de germination.....	45
Figure 10 : Le dispositif expérimental	47
Figure 11 : protocole de l'étude anatomiques	50
Figure 12 : Effet de la salinité sur le taux de germination final.....	52
Figure 13 : Effet de la salinité sur la vitesse de germination	53
Figure 14 : Germination des graines de <i>Peganum harmala</i> L. dans l'eau distillée	55
Figure 15 : Germination des graines de <i>Peganum harmala</i> L. dans solution salin (2,5g/l).	55
Figure 16 : Germination des graines de <i>Peganum harmala</i> L. dans solution salin (5g/l)...	56
Figure 17 : Germination des graines de <i>Peganum harmala</i> L. dans solution salin (10g/l).	56
Figure 18 : Effet de la salinité sur le nombre des feuilles dans la phase végétative.	57
Figure 19 : Effet de la salinité sur la longueur des tiges dans la phase végétative	58
Figure 20 : Effet de la salinité sur la longueur des racines dans la phase végétative.....	59
Figure 21 : Effet de la salinité sur la masse fraîche et la masse sèche dans la phase végéta- tive.....	60
Figure 22 : Cercle des corrélations des variables étudiées durant la phase de croissance végétatif.	63
Figure 23: Effet de la solution saline sur le développement des graines de <i>Peganum har- mala</i> L. dans l'eau distillée	64
Figure 24: Effet de la solution saline sur le développement des graines de <i>Peganum har- mala</i> L.(2,5g/l).....	64

Figure 25: Effet de la solution saline sur le développement des graines de <i>Peganum harmala</i> L.(5g/l).....	65
Figure 26: Effet de la solution saline sur le développement des graines de <i>Peganum harmala</i> L.(10g/l)	65
Figure 27 : Coupes transversales au niveau de la feuille de <i>Peganum harmala</i> L.....	68
Figure 28 : Coupes transversales au niveau de la racine de <i>Peganum harmala</i> L	70

Liste des tableaux :

Tableau N°	Titre	Page
1	Liste des composés chimiques détectés selon l'organe de la plante, chez <i>Peganum harmala</i> L	13
2	Les composés chimiques détectés dans les graines de <i>Peganum harmala</i> L	14
3	Classification française des sols halomorphes en Afrique du Nord	25
4	Caractéristiques chimiques des sols salins, non salin sodique et salin sodique	26
5	Analyses de la variance relative à l'effet du NaCl sur le taux de germination chez <i>Peganum harmala</i> L	53
6	Analyses de la variance relative à l'effet du NaCl sur la vitesse de germination chez <i>Peganum harmala</i> L	54
7	Analyses de la variance relative à l'effet du NaCl sur le nombre des feuilles chez <i>Peganum harmala</i> L.	57
8	Analyses de la variance relative à l'effet du NaCl sur de longueur des tiges chez <i>Peganum harmala</i> L.	59
9	Analyses de la variance relative à l'effet du NaCl sur de longueur des racines chez <i>Peganum harmala</i> L	60
10	Analyses de la variance relative à l'effet du NaCl sur la masse fraîche chez <i>Peganum harmala</i> L.	61
11	Analyses de la variance relative à l'effet du NaCl sur la masse sèche chez <i>Peganum harmala</i> L.	62
12	Matrice de corrélation entre les paramètres morphologiques chez <i>Peganum harmala</i> L.	62

An orange scroll graphic with a light orange gradient and a thin orange border. It has a vertical strip on the left side and two rolled-up ends at the top. The word "Résumé" is centered on the main body of the scroll.

Résumé

Résumé

Un certain nombre des facteurs abiotiques sont connus pour affecter la germination des graines et la répartition des plantes dans les habitats naturels.

Dans cette étude, Pour approcher l'effet du solutions saline de différentes concentrations (0g/l, 2,5g/l, 5g/l, 10g/l) sur la germination et le développement des graines de *Pegunum harmala* L. et quelques paramètres physiologique (taux de germination final (G%), la vitesse de germination (VG%)), morphologiques (nombre des feuilles (NF), longueur de tige (LT), longueur des racines (LR), la masse fraîche et la masse sèche (MF et MS) et l'anatomique.

Les résultats montrant que le traitement avec les différentes concentrations des solutions saline en comparaison avec le témoin, conduit une diminution du paramètres physiologique (TG%) et (VG%), donc l'augmentation de la concentration en NaCl ne retarde pas la germination bien qu'elle diminue le taux de germination et réduit la vitesse de germination. on observe aussi une diminution du paramètres morphologiques : (NF), (LT), (LR), (MF et MS). On en déduit que plus les concentrations n'augmentent, plus les paramètres diminuent, notamment en C3.

Pour les coupes anatomiques des feuilles et des racines, il y a des modifications visibles. Chez les racines, on observe un rétrécissement des tissus conducteurs et une perturbation de l'organisation cellulaire. Au niveau des feuilles, la salinité entraîne un amincissement de l'épiderme, une déformation du parenchyme palissadique et une réduction de la densité cellulaire. Ces altérations limitent la conduction, la photosynthèse et la résistance de la plante.

On conclut que *Pegunum harmala* L. est une plante tolérante à la salinité (halophyte).

Mots clés : *Peganum harmala* L., stress salin, la salinité, Germination, développement, anatomie.

المخلص:

من المعروف أن عددا من العوامل اللاحوية تؤثر على إنبات البذور وتوزيع النباتات في البيئات الطبيعية. في هذه الدراسة، تم تقييم تأثير المحاليل الملحية بتركيزات مختلفة (0 غ/ل، 2.5 غ/ل، 5 غ/ل، 10 غ/ل) على إنبات وتطور بذور نبات الحرمل (*Peganum harmala* L.)، وكذلك على بعض المعايير الفسيولوجية (نسبة الإنبات النهائية (G%) ، سرعة الإنبات (VG%) ، والمعايير المورفولوجية عدد الأوراق (NF) ، طول الساق (LT) ، طول الجذور (LR) ، الكتلة الطازجة والجافة (MS) و (MF) ، بالإضافة إلى الصفات التشريحية.

أظهرت النتائج أن المعالجة بالمحاليل الملحية المختلفة، مقارنةً بالتجربة الشاهدة، أدت إلى انخفاض في المعايير الفسيولوجية (G%) و (VG%) وبالتالي فإن زيادة تركيز NaCl لا تؤخر الإنبات، لكنها تقلل من نسبة الانبات وسرعة الإنبات. كما لوحظ انخفاض في المعايير المورفولوجية: (NF)، (LT)، (LR)، (MF)، (MS) و منه نستنتج أنه كلما زاد التركيز، انخفضت هذه المعايير، وخاصة عند التركيز الثالث (C3). أما بالنسبة للمقاطع التشريحية للأوراق والجذور، فقد ظهرت تغيرات واضحة؛ ففي الجذور لوحظ تضيق في الأنسجة الناقلة واضطراب في التنظيم الخلوي، وفي الأوراق أدت الملوحة إلى ترقق البشرة، وتشوه في النسيج البلاستيدي، وانخفاض في كثافة الخلايا هذه التغيرات تحدّ من النقل، والتمثيل الضوئي، ومقاومة النبات.

نستنتج أن نبات الحرمل (*Peganum harmala* L.) هو نبات متحمل للملوحة (نبات ملحي).

Abstract:

A number of abiotic factors are known to affect seed germination and plant distribution in natural habitats.

In this study, the effect of saline solutions at different concentrations (0 g/L, 2.5 g/L, 5 g/L, 10 g/L) was evaluated on the germination and development of *Peganum harmala* L. seeds, as well as on several physiological parameters (final germination rate (G%), germination speed (VG%)), morphological parameters (number of leaves (NL), stem length (SL), root length (RL), fresh mass and dry mass (FM and DM), and anatomical features.

The results showed that treatment with different saline concentrations, compared to the control, led to a decrease in physiological parameters (G% and VG %). Thus, increasing NaCl concentration does not delay germination, but it does reduce the germination rate and speed. A decline was also observed in morphological parameters: NL, SL, RL, FM, and DM. It is concluded that the higher the concentration, the more the parameters decrease, particularly at the highest concentration (C3).

Anatomical analysis of leaf and root sections revealed visible modifications. In the roots, there was a narrowing of vascular tissues and disruption of cellular organization. In the leaves, salinity caused epidermal thinning, deformation of the palisade parenchyma, and a reduction in cell density. These alterations limit conduction, photosynthesis, and the plant's resistance.

It is concluded that *Peganum harmala* L. is a salt-tolerant (halophytic) plant.

Key words: *Peganum harmala* L., salt stress, salinity, germination, development, anatomy.

A horizontal orange scroll with a gradient, featuring a vertical strip on the left and two circular end caps at the top right and bottom left.

Introduction

Introduction

Dans leur environnement naturel les végétaux sont soumis à un grand nombre de contraintes environnementales de nature biotique et abiotique qui vont influencer leur croissance et leur développement (**Marouf et Raynaud, 2007**). Les perturbations d'ordre physiologique, morphologique, biochimique, moléculaire et hormonales sont imputables aux divers stress abiotiques (**Araus et al., 2002**). Toutefois, certains végétaux disposent d'un potentiel génétique pour la tolérance vis-à-vis des stress environnementaux (**Diallo et al., 2013**).

La salinisation des sols et de l'eau est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale dans les zones arides et semi-arides elle résulte des fortes évaporations d'eau et d'une pluviométrie insuffisante et irrégulière elle provient également de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (**Girard et al., 2005**).

D'autre part, les régions arides et semi arides sont caractérisées par des biotopes affectés par la salinisation. En effet, cette contrainte constitue un facteur limitant de la productivité et du développement agricole (**Ashraf et Harris, 2004**). Par exemple sur 1.5 milliard d'hectares de terre cultivée dans le monde environ 77 millions d'hectares (5%) sont affectés par la teneur excessive en sel (**Sheng et al., 2008**). L'Algérie est parmi les pays menacés avec 3,2 millions d'hectares affectés par la salinité (**Belkhodja et Bidai, 2004**). La salinité peut provoquer au sein de la plante des effets d'ordre osmotique, toxique ou nutritionnel ; Donc la sélection variétale nécessite la connaissance des mécanismes responsables de la tolérance du végétal à la salinité (**Arbaoui et al., 2000**).

Afin de développer de nouvelles cultures adaptées à de nombreux climats sols et besoins, différents de l'humanité une liste de 1861 espèces halophytes et tolérantes au sel a été dressée. Ces espèces de plantes sont réparties sur 139 familles et 636 genres (**Yensen, 2008**) et qui seront une source potentielle d'oléagineux, d'aliments, de fourrage et autres. Cela peut inclure de nombreuses régions du monde en particulier l'Australie, l'Asie centrale, le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord (**Yensen, 2008**).

Les plantes répondent aux contraintes de l'environnement par de nombreux changements révèlent le caractère multifactoriel des mécanismes de tolérance et d'adaptation aux stress

Salin. La réponse au sel des espèces végétales dépend de l'espèce même de sa variété de la concentration en sel et du stade de développement de la plante en conditions stressantes.

Ainsi, la germination des graines est une des phases critiques au cours de la vie de la plante **(Pearen et al., 1997)**. En effet, la salinité réduit généralement la germination aussi bien chez les glycophytes que les halophytes **(Debez et al., 2001)**.

La famille zygopgyllaceae généralement estimé qu'il y a environ 300.000 espèces de plantes supérieures, cependant certains reportent le nombre à 250.000 ces plantes ont été documentées pour l'usage médicinal. La flore algérienne avec ses 3000 espèces appartenant à plusieurs familles botaniques dont 15% endémiques reste très peu explorée sur le plan photochimique ainsi que pharmacologique dans ce qui suit nous allons intéresser à la famille des Zygophyllaceae.

Appartenant à la famille des zygophyllaceae, le *Peganum harmala* L. est une plante vivace aboutissant 50 cm de haut **(Ozenda, 1991)**. Elle pousse dans les sols salins des régions semi-arides **(Andrew, 2001)**. Elle se caractérise par un large territoire de répartition géographique où elle pousse spontanément dans des endroits aux caractéristiques climatiques difficiles **(Kubitzki, 2011)**. En Algérie, cette plante est très commune dans les Hautsplateaux, dans le Sahara septentrional **(Ozenda, 1991)**, dans la zone oranaise, et dans la zone de l'atlas saharien **(Quezel et Santa, 1963)**.

Il ressort des différentes références bibliographiques que la plante *Peganum harmala* L. est connue depuis l'Antiquité. Elle a été utilisée en médecine traditionnelle pour le traitement de nombreux troubles de santé **(Bruneton, 1999)**. Elle est utilisée en fumigation en décoction ou en pommade **(Chehma, 2006)**, pour ses effets sur le système nerveux central et le système cardiovasculaire **(Armin et al., 2002)**. Elle est aussi utilisée comme narcotiques, antihelminthiques, antispasmodiques et dans certains cas contre les rhumatismes et l'asthme **(Bellakhdar, 1997 ; Siddiqui et al., 1988)** ; également usée pour la magie et la fausse couche **(Bruneton, 1999)**.

De plus, les études actuelles révèlent pour cette plante des activités très importantes : antifongique **(Ameziane et al., 2007 ; Edziri et al., 2010 et Hashem, 2011)**, antibactérienne et antivirale **(Edziri et al., 2010)** et antioxydant **(Astulla et al., 2008 ; Mahmoudian et al.,**

2002). Cette espèce de plante peut aussi être utilisée comme insecticide (**Abbassi et al., 2003 ; Idrissi et Hermas, 2008**) ou herbicide (**Benmeddour, 2010 ; Farajollahi et al., 2013 ; Hua et al., 2013 ; Sodaieizadeh et al., 2009**).

En raison de l'importance de cette espèce d'une part et de la menace de salinité pour le milieu agricole d'autre part, il s'avère indispensable d'étudier le comportement germinatif et d'évaluer la tolérance aux sels. Puisque cette plante est considérée comme halophyte (**Ghezlaoui et al., 2011 ; Guittonneau, 2011**), en supposant que ce tstressés (**Abideen et al., 2011 ; Weber et al., 2007**), comment la salinité affecte-t-elle la germination le développement et l'anatomie de cette plante?

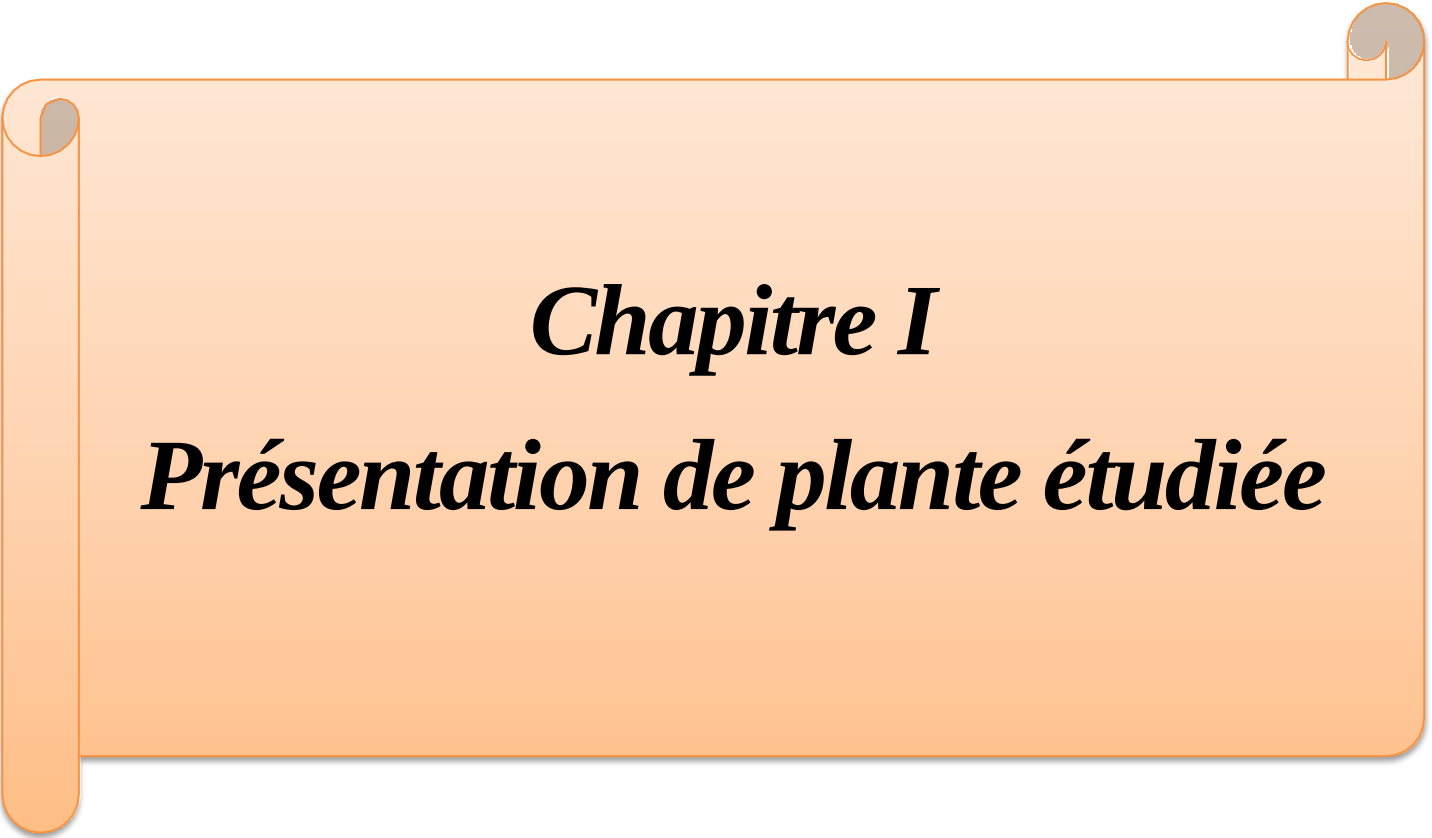
Nous proposons comme hypothèse que les plantes de Harmel existantes ou cultivées dans des milieux salins seront caractérisées par un meilleur taux de germination et de croissance que les plantes non halophytes cultivées dans des milieux salins.

Le but de ce travail est d'effectuer une étude comparative des graines de *Peganum harmala* L. et d'évaluer leur comportement de germination et de croissance sous l'effet de différentes concentrations de NaCl avec l'étude anatomique. Afin de contribuer à la mise en culture de cette espèce dans l'avenir.

Nous avons structuré notre travail en deux parties principales:

- Partie théorique qui compose en deux chapitres
- Le premier sur la présentation de la plante étudiée (la famille Zygophyllaceae, *Peganum harmala* L.)
- Le deuxième chapitre représente la salinité et le stress saline.
- Partie expérimentale qui contient deux chapitres en ordre :
 - Matériel et méthodes
 - Résultats et discussions

Nous clôturons notre travail par une conclusion générale qui regroupe les principaux résultats obtenus et des perspectives.



Chapitre I

Présentation de plante étudiée

1. Historique Zygophyllaceae

Il est généralement estimé qu'il y a environ 300.000 espèces de plantes supérieures ce pendant certains reportent le nombre à 250.000. D'autres estiment que le nombre est aussi élevé que 500.000 cette disparité du nombre est particulièrement liée à la différence de philosophie systématique chez les botanistes et la grande diversité des environnements et les forêts tropicales où on peut rencontrer des espèces nouvelles de plantes, continuellement Parmi ces 300.000 espèces de plantes environ 1% ; soit 3000 ont été utilisés pour nourriture dont environ 150 ont été commercialement cultivées (**Lawrence, 1951**).

D'autre part, à peu près 10.000 de ces plantes ont été documentées pour l'usage médicinal ; elles sont beaucoup plus que celles utilisées dans l'alimentation mais il est encore un très faible pourcentage de toutes les plantes supérieures (**James et al., 2007**).

Ces espèces végétales sont décrites et nommées selon la nomenclature introduite par **karl von Linné en 1753**, et regroupées en quelque 300 familles botaniques (**Roland, 2005**). La flore algérienne, riche de près de 3 000 espèces appartenant à diverses familles dont 15 % sont endémiques demeure encore peu étudiée sur les plans phytochimique et pharmacologique. Dans ce contexte nous porterons notre attention sur la famille des Zygophyllaceae.

Les plantes de cette famille sont facilement identifiables par leur forme : il s'agit d'herbacées, d'arbustes ou parfois d'arbres, dotés de feuilles stipulées très polymorphes. Leurs fleurs isolées ou regroupées en inflorescences sont composées de 4 à 5 pièces florales aussi bien pour le calice que pour la corolle cette dernière pouvant parfois être absente (**Quézel & Santa, 1963**).

Ces plantes possèdent généralement 10 étamines souvent avec des stipules soudées, ainsi qu'un ovaire formé de 4 à 5 carpelles contenant un ou plusieurs ovules par loge. Les fruits sont le plus souvent capsulaires s'ouvrant de manière loculicide ou septicide et peuvent parfois être de type bacciforme ou drupacé (**Quézel & Santa, 1963**).

2. Généralités sur *Peganum harmala* L.

Le nom de l'espèce harmala semble être en rapport avec l'origine géographique de la plante qui croît spontanément dans la région de Harmel (Liban). C'est une Zygophyllacée

cosmopolite occupant des aires géographiques très vastes : Espagne, Sardaigne, Italie méridionale, Grèce, Asie occidentale et centrale et l'Afrique septentrionale (**Maire et Jahandiez, 1932**).

Il s'agit d'une plante herbacée vivace appartenant à la famille des Zygophyllaceae (**Ozenda, 1991**). Originaires des zones arides du centre et de l'Est de l'Asie, ainsi que de l'Afrique du Nord et du sud de l'Europe, elle s'est également adaptée à d'autres régions comme l'Australie (**Andrew, 2001**). Appréciant les climats secs cette espèce peut se développer dans une grande variété de conditions environnementales, ce qui favorise sa large répartition géographique (**Quézel & Santa, 1963**). Elle colonise notamment les sols salins des zones semi- arides (**Andrew, 2001**).

Utilisée depuis l'Antiquité pour traiter divers troubles de santé elle a été officiellement reconnue en 1994 comme plante médicinale. Elle revêt une importance pharmaceutique et économique considérable grâce à sa richesse en alcaloïdes dont la concentration varie selon la partie de la plante et le stade phénologique (**Bettihi, 2014 ; Daggak, 2006**).

Dans la région d'Afrique du Nord et plus particulièrement en Algérie elle est connue sous le nom de « Harmel » ou « Harmel Essahra » (الحرمل / حرمل الصحراء). Elle est appelée « Uzerlik » en Turquie (**Kartal et al., 2003**), « Rue sauvage » en France, « Espand » en Iran, et « Izband » au Cachemire (**Aslam et al., 2014**). Aux États-Unis, elle porte les noms de « African Rue », « Mexican Rue » ou encore « Turkish Rue » (**Rezzagui, 2012**).

3. Description botanique

Peganum harmala L. est une plante vivace et herbacée dépourvue de poils et d'épines possédant des tiges dressées et très ramifiées pouvant atteindre 50 cm de hauteur (**Quezel et Santa, 1963 ; Ozenda, 1991**), voire jusqu'à 100 cm selon **Mahmoudian et al., (2002)**. Son système racinaire peut avoir un diamètre de 3 à 4 cm et s'enfoncer à une profondeur de 3 m (**Khashimov et al., 1971**). Cette plante disparaît durant l'hiver (**Quezel et Santa, 1963 ; Ozenda, 1991**).

Par ailleurs, elle se distingue par une odeur caractéristique très forte et piquante accompagnée d'un goût amer (Chehema, 2006). En raison de ces propriétés elle est généralement évitée par les animaux (Chehema, 2006) (7331، حليمي).



Figure 01 : Plante de *Peganum harmala* L. (site web 1)

3.1. Les feuilles

Les feuilles de *Peganum harmala* L. sont alternes et profondément divisées en fines lanières linéaires (figure 01), comme le décrivent (Quezel et Santa 1963) ainsi que (Ozenda, 1991). Elles sont simples, denses et présentent une teinte verte. Leur forme varie entre semi-ovale et lancéolée allongée, avec une extrémité pointue. Leur longueur se situe généralement entre 4 et 8 cm, et elles sont découpées en plusieurs lobes palmés dont la longueur varie entre 3 et 5 cm. Les feuilles situées dans la partie supérieure de la plante sont plus petites ne dépassant pas 1,5 cm, et se divisent en nombreuses bandes très fines (Quezel et Santa, 1963).

Elles sont également plates, sessiles, et présentent une découpe irrégulière en 3 à 7 lobes. Leur surface est lisse disposée de manière séquentielle le long des rameaux, avec une base soudée à la lame foliaire ce qui leur confère une forme auriculée (1997، حليمي).



Figure 02: Les feuilles de la plante *Peganum harmala* L. (photo personnelle 2025)

3.2. Les fleurs

Les fleurs (**figure 02**) sont blanches portées par de longs pédoncules (**Chehma, 2006**), à assemblage individuel (7331 حليمي). Elles apparaissent du mois de Mars à avril (**Chehma, 2006**). Elles sont assez grandes (**Quezel et Santa, 1963 ; Ozenda, 1991**). Leur taille est de 25-30 mm (**Ozenda, 1991**). Elles sont pentamères (5 Sépales et 5 Pétales), avec dix à quinze étamines, pourvues de sépales effilés (**Chehma, 2006**), à pétales blanc-jaunâtre à filets très élargis dans leur partie inférieure. L'ovaire globuleux a trois ou quatre loges (**Quezel et Santa, 1963**), donnant une capsule sphérique (6-8 mm), entourée par les sépales persistants et s'ouvrant en trois ou quatre valves (**Quezel et Santa, 1963 ; Ozenda, 1991**).



Figure 03 : Les fleurs de *Peganum harmala* L. (site web 2)

3.3. Les fruits

La fleur se développe en fruit sous la forme d'un plateau semi-sphérique (**Ozanda, 1991, Chehma, 2006**), petit 6 à 10 mm de large, contient 3 à 4 loges est séparée par un troisième lutté et se termine par un sommet non effilé avec un sillon minimale est de couleur marron foncé (**Aouadhi, 2010**).

Les fruits est une capsule ronde comprenant trois graines (**Baba, 1990**). Ces dernier sont nombre rebuse, petites anguleuses subtriangulaires, de couleur marron foncé, dont le tégument externe est réticulé, ont une saveur amère, on les récolte en été (**Chopra et al., 1960**).



Figure 04 : Les fruits de *Peganum harmala* L (site web 3)

3.4. Les graines :

Les graines de *Peganum harmala* sont anguleuse petites noir ce contient deux alcalis végétaux : L'harmaline qui avait été découverte dans ces graines et L'hermine Ses graines sont connues pour posséder les propriétés d'hypothermiques et Hallucinogènes (**Ozenda, 2004**).



Figure 05 : Les graines de *Peganum harmala* L. (photo personnelle 2025)

3.5. Les racines :

Les racines latérales sont produites environ 12-15 pouces en dessous. La surface qui peut s'étendre jusqu'à 20 pieds de La plante mère **(Roche, 1991)**.

3.6. Les tiges

Les tiges : dressées, très rameuses disparaissent l'hiver, portent des feuilles alternes, divisées en étroites lanières .A leur extrémité, s'épanouissent les fleurs solitaires assez grandes (25 à 30 mm) **(Dahel et Messaoudi 2019)**.

4. Classification botanique :

Selon **(Ozenda ,1983 ; Bock ,2009)** la classification de l'espèce *Peganum harmala* L. Dans le règne végétal est la suivante :

(Ozenda ,1983)

- ❖ Règne : Végétal
- ❖ Embranchement : Spermatophytes
- ❖ Sous embranchement : Angiospermes
- ❖ Classe : Dicotylédones
- ❖ Sous classe : Rosidae
- ❖ Ordre : Sapindales

- ❖ Famille : Zygophyllaceae
- ❖ Genre : Peganum
- ❖ Espèce : *Peganum harmala* L.

(Bock, 2009)

- ❖ Règne : Plantae
- ❖ Sous-règne : Tracheobionta
- ❖ Embranchement : Sparmaphyte
- ❖ Sous-embranchement : Angiosperme
- ❖ Division : Magnoliophyta
- ❖ Classe : Dicotylédone
- ❖ Sous-classe : Rosidae
- ❖ Ordre : Sapindales (Zygophyllales)
- ❖ Famille : Nitrariaceae (Zygophyllaceae)
- ❖ Genre : Peganum
- ❖ Espèce : *Peganum harmala* L.

5. Origine et l'habitat de *Peganum harmala* :

La plante de Harmel est une espèce d'origine Irano-Touranien–Européen (Quezel et Santa (1963). Elle est géographiquement répandue dans de nombreuses zones arides et semi-arides ; dans les régions semi-arides du Nord-ouest de l'Inde, d'Afrique du Nord et d'Asie centrale (Goel et al., 2009) ainsi que dans le Moyen-Orient ; elle a été introduite en Amérique et en Australie (Mahmoudian et al., 2002). Le genre Peganum est répandu dans toutes les régions du monde.

Il comprend six espèces et deux variétés : *P. harmala* L., *P. multisectum* (Maxim.) Bobrov., *P. nigellastrum* Bunge., *P. mexicanum* Gray., *P. rothschildinum* F. Buxbaum., *P. texanum* M.E. Johes., *P. harmala* variété grandiflorum Hadidi et une variété indéfinie de *P. harmala* L. (Li et al., 2017). *P. harmala* L. est l'espèce la plus répandue de ce genre.

En Algérie, *Peganum harmala* L. est une plante très fréquente sur les sols sableux légèrement nitrés, principalement dans les Hauts-Plateaux et le Sahara septentrional. Elle est absente des régions plus au sud à l'exception des montagnes du Sahara central (Ozenda, 1991). On la retrouve également dans les lits d'oueds et parfois même au sein des agglomérations (Chehema, 2006), ainsi que le long des bords de routes (حليمي, 7331).

6. La composition chimique

Les résultats des analyses chimiques des extraits de *Peganum harmala* L. montrent une diversité et la variation des composés chimiques qu'ils contiennent. On distingue les alcaloïdes et leurs Dérivés, les flavonoïdes et leurs dérivés, les oxamides, les protéines, les graisses, les Stéroïdes, les triglycérides, les acides aminés, les huiles essentielles et les éléments minéraux. En plus, on a des glycosides, tanins, savons et polyphénols (بطيحي، 4172 ;

4112; الأسدي، 4113; الشنوي، 4172; الخسري و الآخرون، 4174; (جازع، 4174) (Bitchagno *et al.*, 2022 ; LI *et al.*, 2017). La nature des composés actifs (**tableau 01**) a été révélée par plusieurs tests chimiques où il a été constaté que les extraits d'eau et d'alcool contenaient des alcaloïdes, des glycosides et d'autres composés efficaces, à des degrés divers. (جازع، 4174)

Tableau 01 : Liste des composés chimiques détectés selon l'organe de la plante, chez *Peganum harmala* L. (4113; الشنوي، 4174; (جازع، 4174)

détection positive(+) détection négative(-)

	Composés actifs	Feuilles	Graine
1	Triterpénoïdes	-	/
2	Fucumarines	-	-
3	Résines	+	-
4	Tanins	+	+
5	Flavonine et flavonols	+	/
6	Flavonoïdes	+	+
7	Alcaloïdes	+	+
8	Saponines	-	+
9	Glycosides	+	-
10	Huiles volatiles	+	-

Tableau 02 : Les composés chimiques détectés dans les graines de *Peganum harmala L.* (Rezzagui, 2012)

Composant	Teneur (%)	La molécule connue
Alcaloïdes	5 à 10	β –Carbolines Quinazolines
Polyphénols	4.6	Flavonoïdes, Quinones, Tanins, Coumarines
Saponines	Non déterminées	Non identifiées
Huiles fixes	15 ,86	Acide linoléique Acide Palmitique Acide Mélissique β -Sitostérol Terpènes et Stérols
Caroténoïdes	0,7	α -carotène δ - carotène β - carotène

7. Importance et usage

Le Harmel (*Peganum harmala L.*) est l'une des plantes médicinales les plus réputées dotée d'une longue tradition d'usage dans la médecine ancienne. Son emploi dans la médecine populaire remonte à l'Antiquité (Aouadhi, 2010). Elle était déjà connue des médecins grecs Dioscoride (40-90 apr. J.-C.) et Galien (131-200 apr. J.-C.), ainsi que du célèbre savant persan Avicenne (Ibn Sina, 980-1037) (Andrew, 2001 ; Jin et Lizhe, 2009) (جَزَع، 4174).

Les graines de *Peganum harmala L.* sont également exploitées en Turquie et en Iran pour la teinture des tissus, en raison de leur teneur en pigment rouge (Kartal et al., 2003 ; Goel et al., 2009 ; Aslam et al., 2014).

En outre, cette plante est utilisée en fumigation dans les pratiques traditionnelles pour éloigner les influences néfastes comme le mauvais œil (**Chehma, 2006**). En Turquie, elle fait partie intégrante des rituels d'exorcisme où les graines sont brûlées (**Kartal et al., 2003**). Dans certaines régions du nord-ouest de l'Inde et de l'ouest du Pakistan elle est utilisée sous forme d'encens lors de cérémonies comme les naissances ou les mariages, afin de purifier les lieux (**Aslam et al., 2014**).

De nos jours, le Harmel est également reconnu pour ses vertus thérapeutiques en Asie centrale où il jouit d'un statut valorisé dans toute l'Asie Mineure (**Derakhshanfar et al., 2009**).

Peganum harmala L. présente ainsi un intérêt majeur en raison de ses nombreuses applications. Elle est étudiée pour ses effets potentiels sur divers agents pathogènes. Dans cette partie, nous mettons en lumière ses principaux usages dans trois domaines clés : la médecine traditionnelle la pharmacie et l'agronomie.

7.1. Les utilisations en médecine traditionnelle

Peganum harmala L. est l'une des plantes les plus fréquemment utilisées en médecine traditionnelle, notamment sous forme de fumigation pour éloigner le mauvais sort et se prémunir contre les envoûtements (**Bellakhdar, 1997 ; Hammiche et al., 2013**). Elle trouve également sa place dans le domaine thérapeutique, et parfois même en gastronomie, utilisée comme épice (**Bakiri et al., 2016**).

Par ailleurs, ses graines ont longtemps servi à la teinture de la laine et des tapis grâce à un colorant rougeâtre qu'elles contiennent, une pratique particulièrement répandue en Turquie et en Iran (**Baytop, 1999**).

D'un point de vue médicinal les graines de *P. harmala* sont traditionnellement employées comme narcotique, antihelminthique, antispasmodique, et dans le traitement de divers maux tels que les rhumatismes ou l'asthme (**Siddiqui et al., 1988 ; Bellakhdar, 1997**). Elles sont également utilisées comme galactogogue emménagogue et vermifuge. En décoction ou sous forme de pommade, la plante est utilisée pour faire baisser la fièvre (**Benarous, 2014**).

En outre, la poudre de graines possède des propriétés antiseptiques et peut être appliquée pour favoriser la cicatrisation de diverses plaies notamment après une circoncision ou en cas

de brûlures. Les rameaux frais quant à eux, sont traditionnellement employés comme révéulsifs (Bellakhdar, 1997).

7.2. Les utilisations pharmaceutiques

Peganum harmala L. est une plante d'un grand intérêt pharmacologique (Hermas et Idrissi, 2008). Ses différentes parties en particulier les graines, renferment de nombreux composés chimiques aux propriétés pharmaceutiques notables. Parmi ces constituants on retrouve des acides aminés (phénylalanine, valine, proline, thréonine, histidine, acide glutamique), des flavonoïdes, des coumarines, des bases volatiles, des tanins, des stérols /triterpènes, ainsi qu'une concentration importante d'alcaloïdes. Ces derniers sont nettement plus abondants dans les graines que dans les racines, les tiges ou les feuilles (Tahrouch et al., 2002). La majorité de ces alcaloïdes sont des β -carboline, tels que la harmine, la harmaline, le harmalol et le harmol (Kahil et Rouabah, 2019).

Les effets pharmaceutiques de *Peganum harmala* L. peuvent être résumés comme suit :

7.2.1. Effets anti-inflammatoires

Des études in vivo et in vitro ont mis en évidence les propriétés anti-inflammatoires et légèrement analgésiques de cette plante. En particulier une crème formulée à base d'huile de graines de *P. harmala* a montré une efficacité notable en grande partie attribuée à sa richesse en acide linoléique, γ -tocophérol, polyphénols et à sa forte activité antioxydant (Sepideh, 2016).

7.2.2 Effets sur le système nerveux

Les alcaloïdes présents dans *Peganum harmala* L. ont démontré une variété d'effets sur le système nerveux central et périphérique, notamment des actions excitatrices, hallucinogènes, analgésiques et antidépresseurs (Moloudizargari et al., 2013).

7.2.3 Effets antiviraux

L'extrait méthanolique de la plante a révélé une activité antivirale. En particulier, un composé isolé nommé Al-Haramain a montré un potentiel intéressant contre certains virus (Idrissi et Hermas, 2008).

7.2.4 Effets antibactériens

L'extrait de graines de *Peganum harmala* L. est utilisé pour ses propriétés antibactériennes et antifongiques en raison de sa capacité à inhiber la croissance de divers micro-organismes (Gomah, 2010 ; Asgarpanah et Ramezanloo, 2012).

7.2.5 Protection contre les radiations

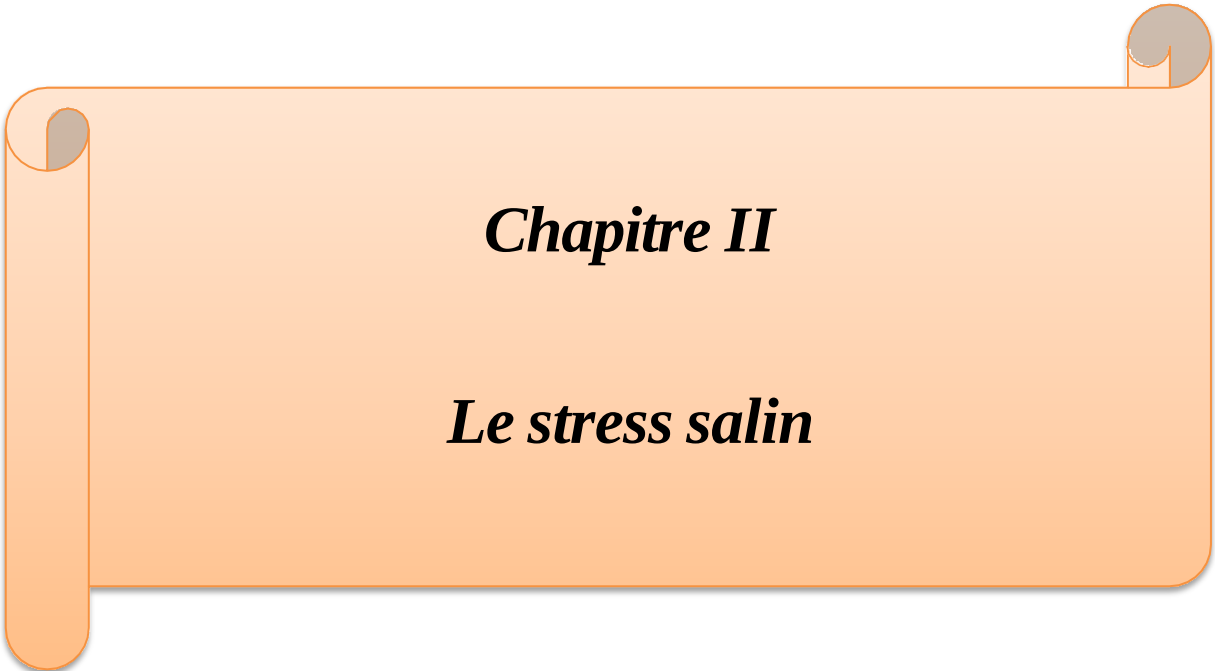
Certaines études suggèrent que *Peganum harmala* L. pourrait avoir un effet protecteur contre les radiations, notamment grâce à des composés comme Al-Haramain, Al-Harmoul et Al-Harmal, qui semblent atténuer les effets des rayons gamma (Jazea, 2012).

8 .Toxicité

La plante est très riche en alcaloïdes de type B carbolines cette forte teneur lui offre une forte toxicité. Ils provoquent des problèmes d'empoisonnement chez l'homme ainsi que chez les animaux et peuvent présenter par une hypothermie permanente des troubles respiratoires et hypersalivation (Mahmoudian et al., 2002). Ces alcaloïdes sont toxiques pour plusieurs types d'animaux inférieurs, notamment les helminthes et les protozoaires (Bouziane, 2012)

La toxicité peut exprimer ainsi par une conscience est décroisse avec une **paralysie** (Rachide, 2009). Des lésions hépatiques et l'insuffisance rénale (Berdai, 2014 ; Sallal et al., 2013). Dans la plus part des cas, les animaux intoxiqués meurent généralement 36-38 heures après l'apparition des premiers signes d'intoxication du SNC et SNP. (Rezzagui ,2012).

Chez l'homme, les doses toxiques entraînent une dépression du système nerveux central, accompagnée d'un affaiblissement des fonctions motrices de troubles de la respiration d'un abaissement de la tension sanguine dû en grande partie à la faiblesse du muscle cardiaque et d'une chute de la température il apparaît en outre que la contractilité des muscles non striés est diminuée les effets convulsifs semblent produits par l'harmine et l'harmaline, alors que l'harmalol provoque une paralysie progressive sans stimulation primaire (Bouziane, 2012).

An orange scroll graphic with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the top, both with rounded ends and a slight shadow. The main body of the scroll is a large rectangle with rounded corners and a subtle gradient.

Chapitre II

Le stress salin

1. Notion de stress

Selon **Dutuit et al., (1994)**, le stress désigne une rupture de l'équilibre fonctionnel au sein d'un organisme ou d'un système vivant, souvent causée par des déficiences, telles qu'une carence.

Il s'agit d'un ensemble de facteurs qui engendrent des altérations des processus physiologiques, pouvant mener à des dommages, blessures, inhibitions de croissance ou de développement. D'après **Jones et al., (1989)**, le stress est "une force ou une influence hostile qui empêche un système de fonctionner normalement". Dans le contexte d'un écosystème, toute contrainte extérieure réduisant la productivité d'une plante en dessous de son potentiel génétique peut être considérée comme un stress (**Grime, 1979**).

Les plantes, en particulier, sont fréquemment confrontées à des stress qui induisent des modifications morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires, affectant ainsi leur croissance et leur productivité (**Araus et al., 2002**).

1.1. Catégories de stress

Les plantes sont fréquemment exposées à des conditions environnementales défavorables, appelées « stress », qui entraînent généralement une réduction de leur croissance. On distingue deux grandes catégories de stress :

1.1.1. Stress biotique

Ce type de stress est causé par des organismes vivants tels que les insectes, les herbivores, les virus, les organismes phytophages et les pathogènes. Face à ces menaces, la plante met en place un système de défense qui déclenche une série de réactions pour limiter les dégâts (**Chretien, 1992**).

1.1.2. Stress abiotique

Il résulte d'un déséquilibre ou d'une extrême variation des facteurs physico-chimiques de l'environnement, tels que la sécheresse, les températures extrêmes ou la salinité (**Chretien, 1992**). Les stress abiotiques, ou environnementaux, impactent négativement la croissance et le rendement des plantes. Pour y faire face, les plantes ont développé diverses stratégies d'adaptation, qui leur permettent de répondre aux chocs chimiques ou physiques imposés par leur environnement, en ajustant leur métabolisme (**Laclerc, 1999**).

Dans le cas du stress salin, la présence élevée de sels dans le sol entraîne une pression osmotique importante autour des racines, réduisant ainsi la disponibilité en eau. Ce déficit en eau s'accompagne d'un stress ionique, dont l'intensité dépend de la perméabilité des membranes végétales aux ions et de la toxicité de ces ions pour la plante (**Hamza, 1980**)

2. Salinité et stress salin

2.1. Définition de stress salin

Le stress salin est un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- (**Hopkins, 2003**). Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels potentiels hydriques. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu "physiologiquement sec" (**Tremblin, 2000**).

On définit ordinairement sous le terme salinité, le processus pédologique suivant lequel le sol s'enrichit anormalement en sels solubles acquérant ainsi un caractère salin (**Servant, 1975**).

2.2. Généralités sur la salinité

La salinité désigne l'accumulation de sels solubles, principalement composés de cations (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) et d'anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^-). Certains sels, moins fréquents mais plus toxiques même à faibles concentrations, doivent également être pris en compte, tels que le bore, le sélénium et l'arsenic (**Zid, 1982**).

La concentration en sel dans l'environnement d'une plante peut varier considérablement, pouvant être insuffisante ou excessive. Bien que des concentrations salines faibles puissent induire un stress, une carence en un ion spécifique se traduit généralement par des troubles nutritionnels. En revanche, le terme "stress salin" désigne surtout un excès d'ions, en particulier Na^+ et Cl^- . À la surface de la Terre, il existe de vastes zones où des niveaux élevés de salinité font naturellement partie du milieu, comme dans les marais salins côtiers, typiques des régions basses, souvent des estuaires, qui sont submergées lors des marées (**Ben Hebireche et Djafour, 2011**).

Selon les recherches de **Levigneron et al., (1995)**, le chlore de sodium augmente la perméabilité ionique des membranes. En effet, les ions chlorures et sodium traversent les plantes par les racines et sont véhiculés par le xylème vers les tiges et les feuilles, à ce niveau ils sont :

- Soit stockés, s'il s'agit de plantes de type inclus ders.
 - Soit retenus et véhiculés par le phloème jusqu'aux racines, s'il s'agit de plantes de type exclu ders.
- La forte concentration en sel dans le milieu provoque une altération de la nutrition minérale et une perturbation des activités métaboliques s'expriment par :
 - 1- La synthèse des protéines et des acides nucléiques.
 - 2- Le taux de respiration.
 - 3- Photosynthèse et sec interactions.

2.3. Définition de la salinité

La salinité des sols a été définie par plusieurs auteurs, comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en Na^+ , Ca^{++} et Mg^+ sous forme de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées (**Asloun, 1990**).

2.4. Types de salinité des sols

Selon les facteurs responsables de la salinisation (au sens large), on distingue deux types principaux : la salinisation primaire et la salinisation secondaire (**Daliakopoulos et al., 2016 ; Zinck et Metternicht, 2008**).

2.4.1. Salinité primaire

La salinité primaire, également appelée naturelle, résulte de l'accumulation progressive de sels dans le sol ou dans les eaux souterraines sur une longue période (**Antipolis, 2003**). En général, elle est associée à une concentration relativement élevée de sels, souvent en raison de la proximité de la mer ou d'océans, ou encore de la présence de dépôts de sels dans la région (**Lahlou et al., 2000**). Cette forme de salinisation, d'origine géologique, marine ou lagunaire, est liée au fonctionnement naturel des terrains sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux (**Mesbah et Laouar, 2013**).

2.4.2. Salinisation secondaire

La salinisation secondaire résulte des activités humaines qui perturbent l'équilibre hydrologique du sol, notamment entre l'eau apportée (par irrigation ou pluie) et l'eau utilisée par les cultures (par transpiration). Les causes principales incluent le défrichement, le remplacement de la végétation pérenne par des cultures annuelles, ainsi que l'utilisation

de systèmes d'irrigation avec de l'eau riche en sels ou un drainage insuffisant (**Ferhat, 2017**).

Dans les zones arides et semi-arides, l'irrigation représente l'une des causes majeures de salinisation secondaire. Actuellement, environ 350 millions d'hectares de terres sont irriguées dans le monde (**Szabolcs, 1994**). Environ 20 % des terres salinisées sont d'origine humaine ou anthropique, et sont donc qualifiées de « secondaires ». L'irrigation est la principale cause anthropique de salinisation des sols (**Anonyme, 2006**).

Dans environ la moitié des cas, le développement de l'irrigation a été accompagné de processus de salinisation, sodisation ou alcalinisation des sols, de diverses intensités. Bien que les situations varient en fonction des caractéristiques du milieu naturel, des pratiques agricoles ou de la gestion de l'eau, ces dégradations ne sont pas inévitables. Elles résultent principalement de modes de gestion inappropriés des ressources en sol et en eau. L'irrigation perturbe le bilan hydrique du sol en ajoutant de l'eau supplémentaire, et cet apport est toujours accompagné d'un apport de sels. Même l'eau douce de la meilleure qualité contient des sels dissous. Bien que la quantité de sels dans cette eau puisse sembler négligeable, l'accumulation d'eau au fil du temps entraîne un dépôt significatif de sels dans les sols, ce qui peut devenir un problème majeur (**Marlet, 2005**).

2.5. Les composantes de la salinité

La salinité induit plusieurs types de stress chez les plantes, notamment les stress hydrique (ou osmotique), ionique et nutritionnel.

2.5.1. Le stress hydrique

La présence excessive de sel dans le sol empêche les plantes d'absorber efficacement l'eau, ce qui conduit à un stress hydrique comparable à celui provoqué par la sécheresse.

Ce manque d'eau entraîne une série de modifications morphologiques, physiologiques et biochimiques dès lors que les besoins en eau de la plante dépassent la quantité disponible.

Ce stress affecte directement la physiologie végétale, bien que toutes les fonctions ne soient pas impactées de manière uniforme ni simultanée (**Oudina et Selfaoui, 2016**).

2.5.2. Le stress ionique

Même si la plante parvient à maintenir un certain équilibre osmotique, l'accumulation excessive de sels peut engendrer une toxicité ionique perturbant les processus métaboliques normaux (**Ghamnia, 2014**). Ce type de stress est notamment lié au

déséquilibre du rapport potassium/sodium (K^+ / Na^+) ainsi qu'à une concentration trop élevée en ions Na^+ . Ce dernier peut se substituer au calcium (Ca^{2+}) dans les parois cellulaires (apoplasme), affectant ainsi leur stabilité. De plus, le sodium peut perturber les fonctions enzymatiques car contrairement au potassium – activateur clé d'environ 50 enzymes – il ne peut pas remplir ce rôle. L'accumulation de Na^+ dans les jeunes plants peut également réduire la surface foliaire photosynthétique, en inhibant la division et l'expansion cellulaire (**Lemzeri, 2007**).

2.5.3. Le stress nutritionnel

Une concentration saline trop élevée dans le milieu entraîne une perturbation de la nutrition minérale des plantes, en particulier au niveau des transporteurs ioniques cellulaires. Le sodium entre en compétition avec le potassium et le calcium, tandis que le chlorure rivalise avec le nitrate, le phosphore et le sulfate, réduisant ainsi l'absorption efficace de ces éléments essentiels (**Kadri et Midoun, 2015**).

2.6. Importance de la salinité

La teneur talle en sels est seul plus important critère pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Cette teneur peut être exprimée en termes de conductivité électrique ou en ppm ou meq/l. La concentration totale est plus importante car la plupart des cultures répondent à la concentration ionique totale du milieu de croissance (effet osmotique) plutôt qu'à un ion spécifique. Généralement, une augmentation de la teneur en sels dans l'eau d'irrigation résultera dans une augmentation de la salinité de la solution du sol (**Hopkins, 2003**).

La vitesse et le degré de cette augmentation dépendront de :

Lessivage c'est-dire la quantité d'eau apportée par irrigation ou par des pluies en des besoins de la culture et l'efficacité du lessivage ; La composition ionique l'eau d'irrigation et la tendance de quelques ion ; tels que à précipitations après l'extraction de l'eau du sol ; Propriété physiques du sol tels que l'infiltration ; les caractéristiques hydriques et le drainage. (**Antipolis, 2003**).

La salinité peut, suivant la dose à la quelle, elle avoir effet stimulateur distincts sur la croissance et le développement de la plante, cette effet stimulateur a été montré par. La salinité à des effets bénéfiques sur la germination et la croissance de quelques espèces à

des niveaux très faible (bien que non quantifiés par les auteurs) de NaSO₄, Na Cl, MgSO₄ et NaCO₃ (**Harnadez, 1997**).

2.7. L'importance des halophytes

Les halophytes jouent un rôle essentiel dans plusieurs domaines : écologie, agriculture, industrie et lutte contre la dégradation des sols. Certaines espèces peuvent être cultivées pour la production de fibres, fourrages, huiles, médicaments traditionnels, et autres produits utiles. Elles servent aussi d'indicateurs des propriétés physico-chimiques des sols, facilitant le transfert des données du terrain vers les utilisateurs finaux (**Li et al., 2008b**).

Plusieurs espèces telles que *Salsola zygophylla*, *Arthrophytum scoparium*, *Suaeda spp*, ou encore *Salvia aegyptiaca* sont efficaces pour réhabiliter les sols dégradés, surtout en conditions de salinité élevée (**Sankary, 1986**).

Les chameaux, en particulier en Tunisie, consomment préférentiellement des halophytes charnues pendant la saison sèche, celles-ci représentant jusqu'à un tiers de leur alimentation. Les genres les plus consommés incluent *Atriplex*, *Nucularia*, *Traganum*, *Suaeda*, *Halocnemum*, entre autres (**Farid, 1989**).

En revanche, ces plantes sont moins appréciées par les ovins et caprins, sauf quelques espèces spécifiques comme *Nitraria retusa* ou *Salsola vermiculata subsp. villosa* (**Chaieb et Zaafouri, 2000**).

Par ailleurs, les halophytes présentent une meilleure synthèse d'éthylène en présence de sel comparées aux glycophytes, ce qui les rend intéressantes pour la production de biomasse et de biocarburants (**Chrominski et al., 1986 ; Abideen et al., 2011**).

Enfin, certaines espèces comme *Pandanus fascicularis* sont utilisées en Inde pour la fabrication de parfums et la stabilisation des sols côtiers (**Choukr-Allah, 1997**).

2.8. Origines et causes de la salinité

Les sels sont naturellement présents dans les sols et participent à la nutrition des plantes. Toutefois, lorsque leur concentration devient excessive, ils peuvent poser de sérieux problèmes notamment en agriculture. La salinisation des terres agricoles est un phénomène croissant difficile à inverser coûteux et long à corriger.

Selon **Calvet (2003)**, la salinité peut avoir deux origines :

Naturelle ou géologique : elle résulte de l'altération de la roche mère sous l'effet de facteurs climatiques.

Anthropique : elle provient d'activités humaines telles que l'utilisation d'engrais chimiques, les amendements, l'épandage de sels sur les routes en hiver ou encore l'irrigation avec des eaux salines souvent combinée à un drainage inefficace ou inexistant.

2.8.1. Les sols salés

Les sols salés se caractérisent par une forte concentration en sels dissous dans la solution du sol ce qui nuit à la croissance des plantes. Les ions les plus courants dans ces sols sont le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), les carbonates (CO_3^{2-}), les sulfates (SO_4^{2-}) et les chlorures (Cl^-). Parmi ceux-ci, le chlorure de sodium (NaCl) est généralement prédominant (**Chaudhary et al., 2003**).

Dans les zones arides et semi-arides, la salinité primaire est fréquente à cause d'un faible rapport précipitations/évapotranspiration (P/ET), souvent compris entre 0,03 et 0,5. L'introduction de l'irrigation sans drainage adéquat perturbe l'équilibre hydrique, ce qui peut entraîner une accumulation de sels dans le sol (**Bashour et Sayegh, 2007**).

Selon **Aubert et al., (1967)**, la classification française utilisée en Afrique du Nord (**Tableau 03**), admet que les sols halomorphes de ces régions peuvent être classés comme suit :

Tableau 03 : Classification française des sols halomorphes en Afrique du Nord
(**Aubert et al., 1967**).

Sous-classe des sols salins	Sous-classe des sols salés à alcali
- Groupe peu salé	- Groupe non lessivé
- Groupe salé à très salé	- Sous-groupe : peu salé
- Groupe à salure profonde	- Sous-groupe : salé à très salé

Les sols salins sont classés en fonction de leur degré de salinité en prenant en compte leur sodicité basée sur le calcul de SAR (**Kotuby-Amacher et al., 1997**).

Selon **Calvet (2003)**, les sols salins peuvent être définis à partir des valeurs de la CE et du ESP. La CE correspond à la conductivité électrique de l'extrait aqueux de sols saturés en eau à 25°C, tandis que l'ESP (exchangeable sodium percentage) constitue le

pourcentage de sodium échangeable (adsorbé). Cette grandeur peut ne pas être toujours disponible mais on peut souvent admettre que l'ESP est égal plus ou moins à la valeur de la SAR.

Bashour et Sayegh (2007), résument les propriétés chimiques des sels affectant les sols dans le tableau ci-après :

Tableau 04: Caractéristiques chimiques des sols salins, non salin sodique et salin sodique
(Bashour et Sayegh, 2007)

Sol	CE mS/cm	ESP	pH
Salin	> 4	<15	< 8,5
Sodique (non salin)	< 4	> 15	> 8,5
Salin sodique	> 4	> 15	< 8,5

Cependant, selon **Chaudhary et al., (2003)**, le sol est dit :

- « Salins » correspondent aux sols à pH inférieur à 8,5 et ont une conductivité électrique, de l'extrait de saturation, supérieure à 4 dS/m à 25°C.
- « Sodique » s'il présente des pourcentages de sodium échangeable supérieurs à 15 (ESP).
- « Fortement sodique » si le ESP est supérieur à 15.

2.8.2. Les eaux salines

2.8.2.1. Ressources des eaux salines

Il est très évident que les eaux d'irrigation renferment d'appréciables quantités de substances chimiques en solution susceptibles de réduire les rendements des cultures et de détériorer la fertilité des sols.

D'après **FAO (2002)**, les activités d'irrigation et de drainage peuvent accroître la salinité des eaux de surface et souterraines en provoquant l'évaporation et le lessivage des sels présents dans le sol. Ce problème intéresse en particulier les zones arides où l'eau de drainage souterraine a toujours une plus forte teneur en sel. Elle est plus calcaire et présente un taux d'absorption du sodium plus élevé que l'eau de distribution.

Selon **Phocaides (2008)**, la cause principale de la salinité est due aux sels solubles contenus, dans toutes les eaux d'irrigation : les eaux provenant de sources de rivières ou pompées à partir de puits et qui ont comme origine les roches dissoutes au travers des couches géologiques et sur lesquelles les eaux ont coulé.

De plus, **FAO (2003)** a déclaré que tous les cours d'eau des zones arides ont des profils salins naturels imputables à la concentration de sels dans le bassin versant et dans les bas-fonds salins. Le transport des sels fossiles dû à l'irrigation avec des eaux souterraines pompées dans les nappes. Le rejet des eaux de drainage dans les cours d'eau est une autre cause de la salinité des cours d'eau.

2.9. Les risques liés à la salinité

Quelle que soit son origine la salinisation constitue une problématique majeure ayant des effets particulièrement néfastes sur les sols, les cultures, les ressources en eau, l'environnement et indirectement sur le consommateur. Ces impacts se manifestent à plusieurs niveaux et méritent une attention particulière. En effet, l'augmentation de la salinité des rivières et des cours d'eau notamment dans les régions arides et semi-arides du globe représente un risque écologique encore largement sous-estimé. La sensibilité des écosystèmes aquatiques à l'élévation des concentrations salines impose une vigilance accrue d'autant plus que ces milieux jouent un rôle clé dans l'équilibre environnemental **(FAO, 2003)**.

Dans le secteur agricole les effets de la salinité sont observables à la fois au niveau des sols et des plantes. Elle modifie les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol tout en altérant la nutrition hydrique et minérale des cultures ce qui affecte directement leur métabolisme **(Heller, 1981 ; Horst, 1986 ; Al-Rawahyet et al., 1992)**. Parmi les conséquences les plus courantes chez les plantes figurent l'arrêt de la croissance, le dessèchement des tissus sous forme de nécroses marginales, la perte de turgescence, la chute prématurée des feuilles et dans les cas extrêmes la mort de la plante **(Zid, 1982)**.

Il convient également de noter que les effets de la salinité varient en fonction du stade de développement de la plante. La tolérance augmente généralement depuis la phase de germination jusqu'à la fructification. Cependant, la plupart des espèces sont plus sensibles au sel au moment de l'émergence et lors des premiers stades de croissance qu'au moment de la germination **(Harnadez, 1997)**. De manière générale, la tolérance au sel n'est pas uniforme au sein d'une même espèce ou variété. Elle dépend de plusieurs facteurs : notamment l'espèce, le génotype, l'âge de la plante et l'état physiologique des organes concernés. Par exemple l'orge et le blé présentent une résistance accrue à la salinité après la germination **(Elmekkaoui, 1990)**.

Par ailleurs, un grand nombre d'arbres fruitiers et d'autres cultures sont particulièrement vulnérables à la toxicité induite par certains ions tels que le chlorure, le sodium et le bore.

Ces éléments, absorbés par les racines et transportés jusqu'aux feuilles peuvent s'y accumuler à des concentrations toxiques provoquant des brûlures et des nécroses foliaires (**Phocaidès, 2008**).

Les sols salés se caractérisent par des conditions défavorables à la croissance des végétaux dues à la présence excessive de sels solubles et de sodium échangeable. Sur le plan physique, une forte concentration de sodium altère la structure du sol en provoquant le gonflement des argiles, la dispersion du complexe argilo-humique et un compactage excessif des particules, ce qui réduit fortement la porosité et la perméabilité du sol (**Rhoades *et al.*, 1992**). D'un point de vue mécanique, cette détérioration est liée à l'action des ions sodium qui en remplaçant les cations calcium et magnésium sur les sites d'échange du sol, provoquent la désagrégation des agrégats et rendent le sol imperméable à l'eau et à l'air (**Phocaidès, 2008**).

Sur le plan chimique la présence de sels salins ou sodiques entraîne une alcalinisation du sol avec un pH pouvant atteindre ou dépasser 8. Cette alcalinité excessive nuit à la disponibilité de plusieurs éléments nutritifs essentiels. Une concentration élevée en ions Ca^{2+} et Na^{+} peut réduire la biodisponibilité du phosphore et du carbonate de calcium, tout en bloquant l'assimilation de micronutriments comme le manganèse (Mn), le fer (Fe), le cuivre (Cu) et le magnésium (Mg), ce qui compromet davantage la croissance des cultures (**Rhoades *et al.*, 1992**).

2.10. La salinité dans le monde et en Algérie

2.10.1. La salinité dans le monde

Les terres émergées de la planète couvrent environ 13,5 milliards d'hectares. Toutefois, si l'on exclut les déserts, les zones montagneuses élevées, ainsi que les régions polaires telles que l'Antarctique et le Groenland, la superficie réellement cultivable est réduite à environ 3 milliards d'hectares, soit seulement 22 % de la surface terrestre — l'équivalent de 50 fois la superficie de la France. Or, la moitié de ces terres arables est déjà exploitée. Dans un contexte de croissance démographique rapide où un doublement de la population mondiale est attendu à court terme la préservation de ce capital sol limité devient une priorité absolue. Ce patrimoine foncier non extensible par nature fait face à de nombreuses menaces parmi lesquelles la salinisation figure en tête des préoccupations mondiales (**Haballah & Timilali, 2018**).

Selon les données de la FAO et les estimations les plus récentes la salinité des sols touche déjà environ 400 millions d'hectares à travers le monde et menace gravement une

superficie équivalente. Cette situation est d'autant plus alarmante que la surface cultivée mondiale ne représente qu'environ 1,5 milliard d'hectares (**Jean, 2009**). Ainsi, la salinisation constitue un enjeu agricole et environnemental d'une ampleur considérable menaçant directement la sécurité alimentaire mondiale et la durabilité des systèmes de production agricole.

2.10.2. La salinité en Algérie

En Algérie, il n'existe à ce jour aucune cartographie exhaustive et précise permettant de localiser avec exactitude les zones affectées par la salinité des sols ni de quantifier de manière rigoureuse la concentration des sels présents dans ces derniers. Toutefois, certaines données partielles disponibles permettent de se faire une idée générale de l'étendue du phénomène de salinisation et de la dégradation des terres qui en résulte (**Insid, 2008**).

Le territoire algérien est majoritairement composé de zones semi-arides et arides couvrant près de 95 % de la superficie nationale (**Benkhelif et al., 1999**). Dans ces régions les sols salés sont particulièrement répandus représentant environ 25 % de la surface totale, soit l'équivalent de 3,2 millions d'hectares (**Halitim, 1988 ; Hamdy, 1999**).

Si la salinité des sols n'était pas perçue comme un enjeu majeur dans le passé, la situation a considérablement évolué ces dernières années. Des phénomènes d'intrusion d'eaux marines ont été observés dans les nappes côtières des régions d'Annaba et d'Oran illustrant une salinisation progressive des eaux souterraines comparable à celle observée dans les zones de sebkha. Cette évolution est en grande partie liée à une exploitation intensive et non régulée des nappes phréatiques à des fins agricoles ayant engendré localement des phénomènes de pollution et de détérioration des sols (**Morsli, 2007**).

Dans cette optique des initiatives de réhabilitation ont été explorées. Une étude menée par **Maalem et Rahmoune (2009)** a mis en évidence le potentiel de trois espèces du genre *Atriplex* (*A. halimus*, *A. canescens* et *A. nummularia*), qui se sont révélées particulièrement prometteuses pour les programmes de restauration des terres pastorales dégradées et des sites salins situés en zones arides.

3. Effet de la salinité sur la plante

Des concentrations élevées de sels dissous dans la solution du sol peuvent affecter les plantes de manière indirecte en modifiant la structure du sol ainsi que la circulation de l'eau et de l'oxygène. Elles exercent également une influence directe sur la germination, la croissance et le développement des végétaux. Les effets nuisibles de la salinité sur les

plantes résultent de plusieurs facteurs sans qu'un seul ne soit clairement prédominant (**Niu et al., 1995 ; Bohnert et Shen, 1999 ; Hasegawa et al., 2000**).

En général, la salinité entraîne un ralentissement du développement notamment une diminution de la hauteur et du diamètre des tiges chez diverses espèces. De plus, la taille des fruits tend à se réduire significativement à mesure que la salinité augmente (**Boukachabia, 1993**).

3.1. Effet de la salinité sur la germination

3.1.1. Définition de la germination

La germination est une période transitoire au cours de laquelle la graine qu'était à l'état de vie latente manifeste une reprise des phénomènes de multiplication et d'allongement cellulaire (**Chaussat et al., 1975**).

La germination correspond au passage de l'état de vie ralentie à l'état de vie active que les réserves qui jusque l'assuraient le métabolisme résiduel de l'embryon vont être activement métabolisées pour assurer la croissance de la plantule (**Jeam et al., 1998**).

3.1.2. Types de germination

3.1.2.1. Germination épigée

Dans ce type de germination, la graine est soulevée au-dessus du sol grâce à la croissance rapide de la tigelle formant l'hypocotyle qui entraîne les cotylédons hors de terre. Après l'apparition de la radicule, la gemmule se développe pour donner naissance à une tige portant des feuilles. L'épicotyle correspond alors au premier entrenœud situé au-dessus des cotylédons et les premières feuilles visibles sont appelées feuilles primordiales (**Ammari, 2011**).

3.1.2.2. Germination hypogée

Dans ce cas la graine reste enfouie dans le sol. La tigelle ne s'allonge pas et les cotylédons demeurent également sous terre (**Ammari, 2011**).

3.1. 3. Conditions de la germination

3.1. 3.1. Conditions internes

Même lorsque des graines matures sont placées dans des conditions favorables à la germination (température, humidité, etc.), il peut arriver qu'elles ne germent pas. Cela peut être dû à la dormance de l'embryon ou à la présence de mécanismes inhibiteurs. Les

conditions internes concernent la qualité intrinsèque de la graine : elle doit être vivante, arrivée à maturité, exempte de dormance et en bon état sanitaire (**Jeam *et al.*, 1998**).

3.1. 3.2. Conditions externes

La germination dépend aussi de facteurs environnementaux essentiels tels que l'eau, l'oxygène, la température et parfois la lumière (**Soltner, 2007**).

Selon **Chaussat *et al.*, (1975)**, l'apport d'eau obligatoirement sous forme liquide est indispensable. Elle pénètre dans la graine par capillarité remet en solution les réserves qu'elle contient et permet leur utilisation par l'embryon favorisant ainsi le gonflement et la division cellulaire.

L'oxygène bien que nécessaire en faible quantité est également indispensable à la germination (**Soltner, 2007**). D'après **Meyer *et al.*, (2004)**, les enveloppes de la graine jouent un double rôle en servant à la fois de barrière et de réservoir à oxygène.

La température influence la germination de deux manières :

- **Directement**, en accélérant les réactions biochimiques ; une légère hausse de température suffit souvent à stimuler le processus (**Chaussat *et al.*, 1975**).
- **Indirectement**, en modifiant la solubilité de l'oxygène dans l'embryon (**Chaussat *et al.*, 1975**).

La lumière quant à elle agit différemment selon les espèces. Elle peut inhiber la germination chez les graines à photosensibilité négative ou au contraire la stimuler chez celles à photosensibilité positive. Les espèces insensibles à la lumière sont relativement rares (**Anzala, 2006**).

3.1.4. Morphologie et physiologie des graines en la germination

3.1.4.1. Morphologie de la graine

La graine s'imbibe d'eau et se gonfle, le tégument se fend et la radicule émerge et s'oriente vers le milieu (sol) selon un géotropisme (gravi tropisme) positif. Puis, la tigelle émerge et s'allonge vers le haut. Les téguments de la graine se dessèchent et tombent (**Meyer *et al.*, 2004**).

3.1.4.2. Physiologie des graines en la germination

Au cours de la germination, la graine se réhydrate et consomme de l'oxygène pour oxyder ses réserves en vue d'acquies l'émergence nécessaire. La perméabilité du tégument et le contact avec les particules du sol conditionnent l'imbibition et la pénétration de l'oxygène. Les réserves de toute nature sont digérées (**Meyer *et al.*, 2004**).

3.1.5. Différent obstacles de la germination

La germination peut être empêchée par divers obstacles même si l'embryon est viable et les conditions environnementales sont favorables (**Mazliak, 1982**).

- **Dormance embryonnaire** : Elle résulte d'un blocage interne à l'embryon. Elle peut être primaire, présente dès la récolte des graines ou secondaire induite par des conditions défavorables après la récolte (**Chaussat et al., 1975**).

- **Inhibitions tégumentaires** : Elles sont dues à des téguments imperméables à l'eau ou à l'oxygène ou trop rigides pour que l'embryon puisse les percer. Ce phénomène, fréquent chez les « graines dures » permet le maintien d'un stock viable de graines dans le sol (**Soltner, 1988 ; Mazliak, 1982 ; Soltner, 2001**).

- **Dormance morphologique** : Cette forme de dormance apparaît lorsque l'embryon est encore immature au moment de la dissémination. Il doit d'abord poursuivre son développement avant de pouvoir germer. Certaines dormances sont liées à des facteurs externes comme la lumière (photolabiles), l'obscurité (scotolabiles), la sécheresse (xérolabiles) ou le froid (psychrolabiles) (**Baskin et al., 1998 ; Heller et al., 1990**).

- **Inhibitions chimiques** : Ces inhibitions, bien que plus rares en conditions naturelles, sont dues à des substances présentes dans ou autour de la graine. Leur nature précise reste souvent inconnue car elles sont rarement isolées (**Mazliak, 1982**).

3.1.6. Effet de la salinité sur la germination

La germination des graines est influencée à la fois par des facteurs génétiques propres à chaque espèce et par les conditions environnementales notamment la disponibilité en eau et la présence de sels dans le sol. C'est l'un des stades les plus vulnérables face aux stress salin et hydrique. En effet, la majorité des plantes se révèlent particulièrement sensibles à la salinité durant les phases de germination et de levée. Parmi les mécanismes d'inhibition de la germination en conditions salines, une perturbation de l'équilibre hormonal a été identifiée (**Nasri, 2014**).

Le chlorure de sodium, souvent présent dans le sol ou l'eau d'irrigation altère la germination de deux manières : il ralentit la vitesse de germination et diminue le taux de graines capables de germer. Ces effets varient selon l'espèce végétale et l'intensité du stress salin (**Ben Naceur et al., 2001 ; Tobe et al., 2001**).

Sur le plan physiologique l'accumulation de sels dans les cellules peut perturber l'activité enzymatique essentielle à la germination, empêcher la levée de dormance et réduire ainsi le pouvoir germinatif des graines (**Rejili et al., 2006**).

Qu'elles soient halophytes (tolérantes au sel) ou glycophytes (sensibles au sel), les plantes subissent l'impact de la salinité. Cet effet peut être d'origine osmotique ou toxique, selon les espèces (**Ismail, 1990**).

3.2. Effet de salinité sur la croissance et le développement

Le stress salin provoque des altérations morphologiques chez les plantes. Toutefois, ce sont principalement la biomasse sèche et la longueur des tiges qui permettent d'évaluer leur niveau de tolérance ou de sensibilité au sel (**Bekhouché, 1992**).

Selon **Levigneron et al., (1995)**, une augmentation soudaine de la salinité du sol entraîne une réduction immédiate de la croissance des feuilles. Chez la majorité des glycophytes, une concentration de 50 mM/L de NaCl dans la solution du sol suffit à ralentir fortement leur développement. En revanche, les halophytes ne montrent une diminution de croissance qu'à des concentrations nettement plus élevées.

Parmi les manifestations morphologiques induites par le stress salin, on observe :

- Une faible ramification, une réduction du diamètre et de la longueur des tiges ainsi qu'une diminution de leur poids sec, comme constaté chez la tomate.
- Un raccourcissement des entre-nœuds ainsi qu'une réduction du nombre de nœuds.
- Une baisse du nombre de feuilles et de la surface foliaire (**Larher et al., 1987**).

La salinité affecte également le développement des fruits, qui deviennent plus petits, présentent des nécroses et subissent des altérations de leurs qualités organoleptiques (**Levigneron et al., 1995**). La production totale ainsi que le poids moyen des fruits diminuent de manière linéaire avec l'augmentation de la salinité. Ces symptômes, notamment la nécrose apicale des fruits, sont généralement liés à un déséquilibre en calcium (Ca^{2+}) et/ou à un stress hydrique.

3.3. Effet de la salinité sur l'eau dans la plante

Une concentration élevée en sel dans le sol est perçue par la plante comme une réduction significative de la disponibilité en eau. Pour y faire face, la plante doit mettre en place un ajustement osmotique efficace permettant au potentiel hydrique des cellules de rester inférieur à celui du milieu environnant, y compris du sol. Cet ajustement est essentiel pour maintenir l'absorption de l'eau depuis le sol, conserver l'eau au sein des cellules et préserver la turgescence cellulaire. En l'absence d'un tel ajustement, l'eau tend à s'échapper des cellules entraînant un déficit hydrique et une perte de turgescence. (**Niu et al., 1995 ; Bohnert et Shen, 1999 ; Hasegawa et al., 2000**).

3.4. Effets de la salinité sur l'absorption

Le stress salin affecte significativement la capacité des plantes à absorber l'eau et les éléments nutritifs. En conditions non salines, les solutés organiques diminuent avec l'âge des plantes, tandis que les solutés inorganiques augmentent (**Rahmoune et al., 1997 ; Ben Naceur et al., 2002**). L'irrigation avec de l'eau salée augmente la concentration des sels dans le sol entre deux arrosages ce qui accroît la pression osmotique et provoque une sécheresse physiologique rendant l'eau moins disponible pour les racines (**Maillard, 2001**). Cette contrainte osmotique réduit aussi la croissance racinaire, limitant l'absorption des nutriments (**Tester & Davenport, 2003 in Jabnoute, 2008**).

La salinité favorise l'absorption de certains cations (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) au détriment des anions (Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-}), causant un déséquilibre ionique. Dans les feuilles, les ions chlorure s'accumulent davantage que le sodium (**Rahmoune et al., 2000**) et entrent en compétition avec les nitrates limitant leur transport vers les parties aériennes des plantes sensibles ce qui provoque des carences nutritionnelles (**Slama, 1986 in Lamzeri, 2007**). De plus, le stress salin inhibe fortement la fixation biologique de l'azote et réduit l'activité de la nitrogénase dans les nodosités des légumineuses (**Räsänen, 2002 in Lamzeri, 2007 ; Pessarakli et al., 1990**).

3.5. Effets de la salinité sur la translocation

Le contrôle du transport et de la répartition des ions entre les différents organes de la plante, ainsi qu'au sein des cellules constitue un élément clé du mécanisme de tolérance au sel (**Greenway et Munns, 1980**). D'après une étude menée par **Haouala et al., (2007)** sur le ray-grass anglais cette plante accumule davantage de sodium (Na^+) et de chlorure (Cl^-) dans ses feuilles que dans ses racines. Ce comportement permet de la classer parmi les espèces dites « includers », bien qu'elle soit considérée comme modérément sensible à la salinité.

Les glycophytes, qui se développent généralement dans des sols non salins présentent souvent une double faiblesse : un transfert limité des ions des racines vers les feuilles et une faible capacité à compartimenter efficacement ces ions dans les cellules. Selon **Greenway et Munns (1980)**, les espèces les plus tolérantes au sel sont celles qui parviennent à limiter l'absorption excessive d'ions. Toutefois, certaines glycophytes comme le cotonnier ou l'orge transportent et accumulent de grandes quantités de Na^+ dans leurs feuilles.

Les espèces incapables de compartimenter efficacement le sodium dans leurs feuilles se montrent généralement plus sensibles à la salinité. Cette vulnérabilité semble liée à une mauvaise régulation du sodium cytoplasmique ce qui pourrait expliquer leur fragilité cellulaire. En effet, l'incapacité à éliminer efficacement le Na^+ du cytoplasme facilite son transport par le phloème (**Zid et Grignon, 1986, cité par Haouala, 2007**).

3.6. Effets de la salinité sur le taux des ions

L'absorption de fortes concentrations de chlorure de sodium (NaCl) perturbe l'équilibre ionique des plantes en provoquant une concurrence notamment avec le potassium (K^+), entraînant souvent une carence en cet ion essentiel. Une exposition prolongée au NaCl conduit généralement à une accumulation de sodium (Na^+) et de chlorure (Cl^-), accompagnée d'une réduction des taux de calcium (Ca^{2+}), potassium (K^+) et magnésium (Mg^{2+}) chez de nombreuses espèces végétales (**Khan, 2001, cité par Haouala et al., 2007**).

Chez *Vicia faba*, par exemple la salinité provoque une hausse des teneurs en Na^+ , Ca^{2+} et Cl^- , tout en réduisant le rapport K^+/Na^+ (**Gadallah, 1999, cité par Haouala et al., 2007**). Les impacts nutritionnels du stress salin s'expriment par deux mécanismes principaux : la toxicité directe liée à une accumulation excessive d'ions dans les tissus et un déséquilibre minéral causé par la présence dominante de certains ions.

L'excès de Na^+ dans la plante compromet l'absorption des cations essentiels tels que K^+ et Ca^{2+} . Il existerait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation au niveau de l'apoplasme. De plus, l'influence du sodium sur l'absorption du potassium dépend de sa concentration : à faible dose, le Na^+ peut stimuler l'absorption du K^+ , tandis qu'à forte concentration, il la réduit considérablement comme cela a été observé chez le riz (**Levitt, 1980, cité par Haouala et al., 2007**) et la canne à sucre (**Nimbalkar et Joshi, 1975, cité par Haouala et al., 2007**).

Dans certains cas, l'absorption du potassium peut même être totalement inhibée notamment chez le haricot (**Hamza, 1977, cité par Haouala et al., 2007**) et le laurier rose (**Hajji, 1980, cité par Haouala et al., 2007**) cultivés en présence de NaCl à une concentration de 12 g/L.

3.7. Effets de la salinité 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. La croissance du

végétal autant que la production de biomasse est une mesure de la photosynthèse nette et comme les stress environnementaux affectent la croissance donc affectent la photosynthèse. Le stress salin cause des effets à long et à court terme sur la photosynthèse. Les effets à court terme se manifestent après quelques heures jusqu'à un à deux jours de l'exposition au stress et la réponse est importante; il y a complètement arrêt de l'assimilation du carbone.

L'effet à long terme s'exprime après plusieurs jours de l'exposition au sel et la diminution de l'assimilation du carbone est due à l'accumulation du sel dans les feuilles en développement (**Munn et Termatt, 1986 in Parida et Das, 2005**), aussi on a rapporté qu'il y a suppression de la photosynthèse sous les conditions d'un stress salin (**Kao et al., 2001 in Parida et Das, 2005**) et qu'elle ne diminue pas mais plutôt stimulée par de petites concentrations de sel (**Kurban et al., 1999 in Parida et Das, 2005**). La diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs:

(1) la déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO₂, (2) la toxicité du sel, (3) la réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture hydroactive des stomates, (4) la sénescence accrue induite par la salinité et (5) le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique. (**Iyengar et Reddy, 1996 in Parida et Das, 2005**).

3.8. Effets de la salinité sur les enzymes antioxydantes

En réponse à divers stress biotiques et abiotiques y compris la salinité, les plantes produisent rapidement des espèces réactives de l'oxygène (ERO) telles que les superoxydes, les radicaux hydroxyles et le peroxyde d'hydrogène. Cette production accrue d'ERO résulte de conditions environnementales défavorables comme la sécheresse, les températures extrêmes, les métaux lourds, les UV, les polluants atmosphériques (ozone, SO₂), les carences nutritionnelles, les attaques pathogènes et l'excès de lumière (**Ben Naceur et al., 2005**).

Le stress salin provoque un déficit hydrique lié à un effet osmotique perturbant le métabolisme cellulaire et induisant un stress oxydatif. Les ERO générées en conditions de salinité extrême peuvent endommager les membranes cellulaires et conduire à la mort cellulaire (**Bohnert & Jensen, 1996 in Parida & Das, 2005**).

Pour se protéger les plantes activent un système de défense enzymatique impliquant notamment la catalase, la peroxydase, la glutathion réductase et la superoxyde dismutase. Chez le blé, la salinité stimule l'activité d'autres enzymes antioxydantes telles que

l'ascorbate peroxydase, la glutathion réductase, la monodéshydroascorbate réductase (MDHAR) et la déshydroascorbate réductase (DHAR), bien que les niveaux d'ascorbate total et de glutathion diminuent (**Hernandez *et al.*, 2000 in Parida & Das, 2005**).

3.9. Effets de la salinité sur le métabolisme de l'azote

L'activité de la nitrate réductase (NRA) diminue dans les feuilles de beaucoup de plantes pendant le stress salin (**Flores *et al.*, 2000**). La première cause de la réduction

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

Chez le maïs (*Zea mays*) le taux des nitrates diminue dans les feuilles mais augmente dans les racines sous le stress salin et la NRA des feuilles diminue aussi dans la salinité (**Abd Elbaki *et al.*, 2000 in Parida et Das, 2005**).

L'exposition des racines nodulées à NaCl des légumineuses comme le soja et le haricot cause une réduction rapide de la croissance végétale. (**Serraz *et al.*, 1998 in Parida et Das, 2005**). L'activité de la nitrogénase diminue chez le haricot par une exposition à courte durée à la salinité.

3.10. Effets de la salinité sur les pigments photosynthétiques et les protéines

Le stress salin entraîne généralement une diminution des taux de chlorophylle et de caroténoïdes dans les feuilles. Les feuilles âgées sont particulièrement affectées, développant une chlorose avant de chuter si l'exposition au sel se prolonge (**Agastian *et al.*, 2000**). Toutefois, certaines exceptions existent : par exemple, chez *Amaranthus*, la concentration en chlorophylle peut augmenter sous l'effet de la salinité (**Wang & Nil, 2000**).

Chez *Grevillea*, la protochlorophylle, la chlorophylle et les caroténoïdes sont tous réduits par le stress salin avec un déclin plus marqué de la protochlorophylle et de la chlorophylle que de la chlorophylle a et des caroténoïdes. Par ailleurs, les niveaux d'anthocyanines augmentent de façon significative en réponse à la salinité (**Kennedy & De Fillippis, 1999 in Parida & Das, 2005**).

En ce qui concerne les protéines, leur teneur totale soluble dans les feuilles diminue sous l'effet de la salinité (**Parida *et al.*, 2002**). Néanmoins chez le mûrier, **Agastian *et al.*,**

(2000) ont observé une augmentation des protéines solubles à faibles concentrations de sel suivie d'une baisse lorsque la salinité devient plus élevée.

3.11. Effets de la salinité sur l'ultrastructure du chloroplaste

Chez les plantes traitées avec le NaCl, la microscopie électronique a montré que la structure du thylacoïde du chloroplaste devient désorganisée le nombre et la taille des plastoglobules augmentent et le taux d'amidon diminue (**Hernandez *et al.*, 1999 in Parida et Das, 2005**). Dans le mésophylle de la patate douce (*Ipomoea batatas*), les membranes des thylacoïdes sont gonflées et la plupart sont perdues sous un stress salin sévère (**Mitsuya *et al.*, 2000 in Parida et Das, 2005**).

4. Mécanismes d'adaptation à la salinité

4.1. Adaptations morphologiques

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

Selon **Hamza (1982)**, les plantes manifestent des adaptations diverses en présence d'un excès de sel, un allongement faible des organes, un raccourcissement des entrenœuds et une réduction de la surface foliaire. Les différentes parties de la plante ne réagissent pas de la même façon en milieu salin. Les racines commencent à diminuer (**Levigneron *et al.*, 1995, Lallouche *et al.*, 2017**).

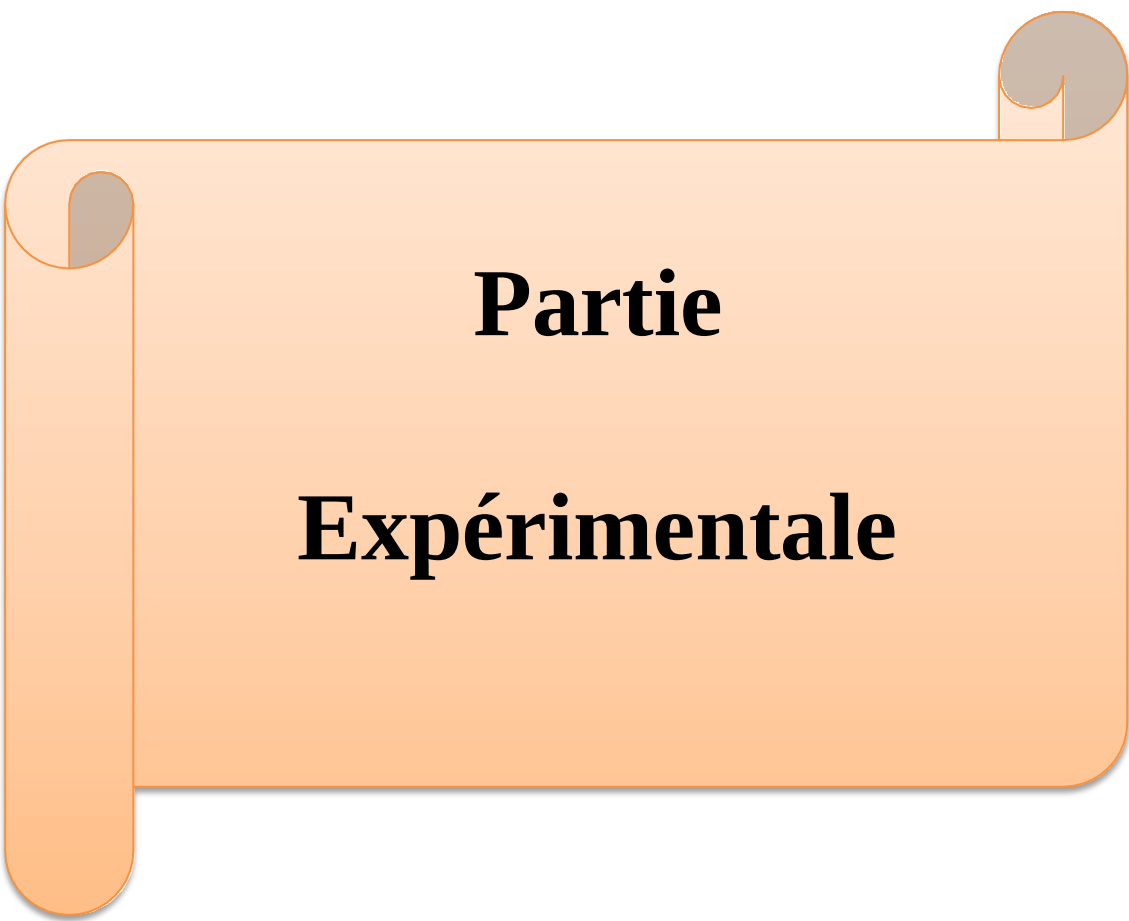
Les plantes exposées à de hautes concentrations de sel accumulent un soluté organique qui est la proline afin d'ajuster le potentiel osmotique dans le cytoplasme (**Sannada *et al.*, 1995 ; Belkhodja et Benkablia, 2000 ; Lallouche *et al.*, 2017**).

4.2. Adaptations anatomiques

Selon **Poljakoff-Mayber, (1975)**. Des modifications anatomiques apparaissent au niveau des différents organes lors d'un stress salin. On observe des modifications du cortex qui chez les halophytes est constitué de deux à trois couches de cellules seulement des adaptations à long terme s'opèrent avec des modifications morphologiques au niveau des racines, tiges et feuilles. ainsi qu'une diminution du diamètre de la stèle au niveau des

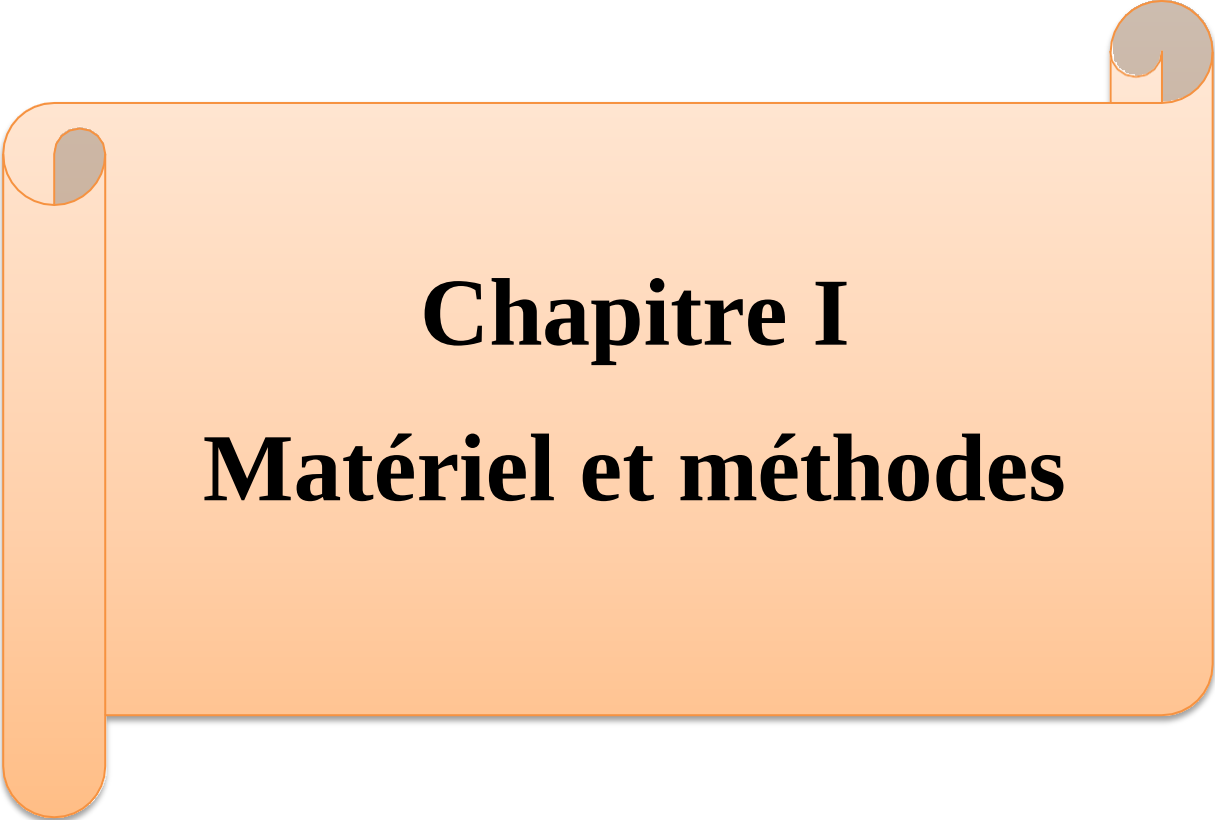
racines du blé et chez la tige de la tomate où le cortex devient épais alors que le nombre de vaisseaux conducteurs diminue.

D'autres modifications s'observent sous l'effet de la salinité comme la raréfaction des stomates, la présence de tissus de soutien et l'abondance du parenchyme aquifère. Certaines plantes peuvent développer différentes stratégies qui leur permettent de réguler les concentrations internes en ions. Lors d'un stress salin, les halophytes sont capables de compartimenter les ions Na^+ et Cl^- au niveau vacuolaire. Certaines halophytes possèdent des structures spécialisées appelées « glandes à sel », constituées d'une à plusieurs cellules sont souvent protégées par une mince cuticule perforée de pores situées au niveau des cellules épidermiques des feuilles et des tiges ayant pour rôle d'excréter le sel lorsque la charge minérale des tissus est excessive (**Thomson, 1975**).

A decorative orange scroll graphic with a light orange gradient and a thin orange border. It has rounded corners and a vertical tab on the left side. The text is centered on the scroll.

Partie

Expérimentale

An orange scroll graphic with a light orange gradient and a darker orange border. It has a vertical strip on the left side and a small loop at the top right corner.

Chapitre I

Matériel et méthodes

Notre étude expérimentale a été réalisée au sein de laboratoires pédagogique du Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf Mila 2025.

1. Objectif

Le but de ce test est d'achever une étude comparative des effets de différentes concentrations de la salinité (NaCl) sur la germination et le développement des graines de *Peganum harmala* L. avec l'étude anatomique.

2. Matériel végétal

Les grains de *Peganum harmala* L. (**figure 06**) utilisées dans cette étude ont été achetés au début d'avril 2025 et conservées dans des conditions ambiantes avant l'expérimentation.



Figure 06 : les graines de *Peganum harmala* L. (photo personnelle, 2025)

3. Méthode de travail

L'expérimentation a été réalisée en deux parties (selon le protocole de **Djennade et Attalaoui, 2018**), La première au laboratoire dans des Boîtes de Pétri et la deuxième par le semis direct en sol (dans des pots mis en plein air).

Premier essai

3.1. Préparer des solutions saline à une différente concentration

Les solutions de chlorure de sodium (NaCl) ont été préparées à différents niveaux de salinité (**figure 07**). Les concentrations utilisées étaient les suivantes :

- C0 = 0g/l (témoin)

- C1 = 2,5g/l Dans un bécher poser 2,5g NaCl avec 500 ml d'eau distillé, puis poser le bécher sur l'agitateur magnétique avec un baron magnétique pour mélanger la solution et après homogénéisation nous complétons le volume de la solution à 1 L.
- C2 = 5g/l Dans un bécher poser 5g NaCl avec 500 ml d'eau distillé, puis poser le bécher sur l'agitateur magnétique avec un baron magnétique pour mélanger la solution et après homogénéisation nous complétons le volume de la solution à 1 L.
- C3 = 10g/l Dans un bécher poser 10g NaCl avec 500 ml d'eau distillé, puis poser le bécher sur l'agitateur magnétique avec un baron magnétique pour mélanger la solution et après homogénéisation nous complétons le volume de la solution à 1 L.



Figure 07 : Les solutions saline à une différente concentration (photo personnelle,2025)

3.2. Préparation des graines de *Peganum harmala* L.

Déposer les graines de *Peganum harmala* L. dans un bécher qui comporte l'eau puis poser au-dessus de l'agitateur magnétique avec baron magnétique pendant une heure Arrêtez de mélanger jusqu'à ce que le mélange stabilise ; puis retirer les graines qui flottent à la surface (car elles n'interviennent pas à la plantation).

Les graines ont été stérilisées superficiellement à l'aide d'une solution de Javel diluée (1%) pendant quelques minutes (5min) , puis rincées à plusieurs reprises à l'eau distillée (3 fois) pour éliminer tout résidu puis nous laissons un peu sécher (**Figure 08**).



Figure 08 : les étapes de la préparation des graines *Peganum harmala* L. (photo personnelle, 2025)

3.3. Protocole de germination

Premièrement nettoyer la paillasse par l'alcool, puis préparer les boîtes de pétri contenant de papier filtre stérile.

Les graines ont été placées dans les boîtes de pétri, humidifiée avec 10 ml d'eau distillée (témoin) et les autre boîtes de Pétri humidifier avec 10 ml de solution saline à une différents concentration de 2,5, 5, 10 g/l, ensuite fermer les boîtes pour éviter l'évaporation ; pour chaque traitement, 50 graines ont été disposées par boîte avec 4 répétition par concentration.

Les boîtes ont été placées à température ambiante ($25^{\circ} \pm 2C^{\circ}$) du laboratoire et sous lumière naturelle.

L'évolution de la germination est suivie durant un 10 jours en calculant le pourcentage cumulé de germination chaque deux jours, l'émergence de la radicule d'au moins 2 mm étant l'indicateur de la germination (**Figure 09**).

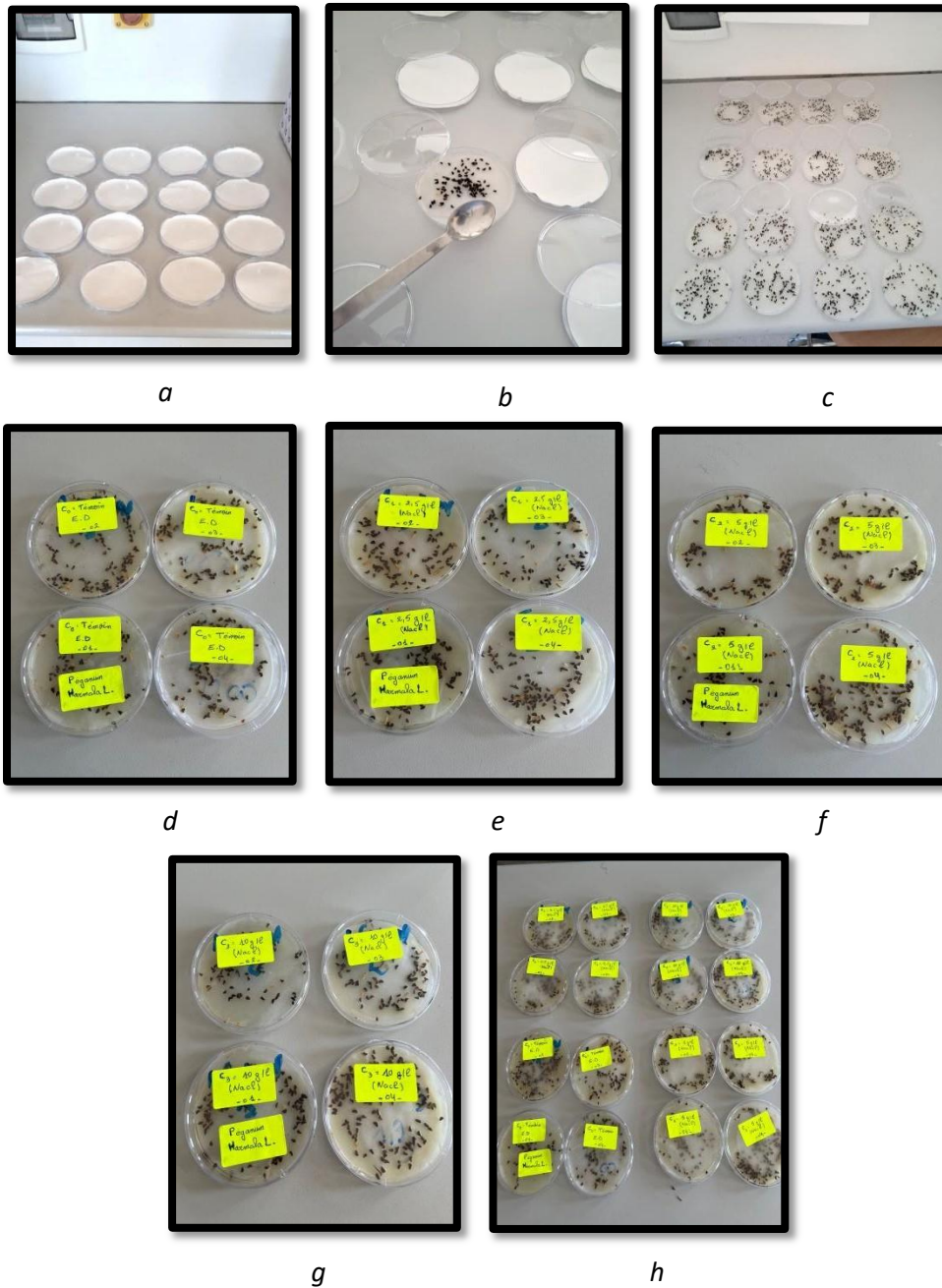


Figure 09 : Protocole de germination (photo personnelle,2025)

3.4. Paramètres étudiés

Nous avons étudié les paramètres physiologiques

3.4.1. Taux de germination final (G %)

Ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration saline qui présente la limite physiologique de germination des graines de *Peganum hamala* L. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines. Sur l'essai de germination ont été déterminés le pourcentage définitif de germination (FG %)

a été mesurée par la formule ci-après (LAFON *et al.*, 1996).

$$FG \% = (\text{nombre des graines germées} / \text{nombre total mis en germination}) \times 100$$

3.4.2. La vitesse de germination (VG%)

La vitesse de germination est un indicateur qui mesure la rapidité avec laquelle les graines germent sur une période donnée. Elle est généralement exprimée par le nombre de graines germées par jour ou sous forme d'un indice calculé, comme l'indice de vitesse de germination (IVG), qui prend en compte le nombre de graines germées et le temps nécessaire à leur germination.

Selon Association of Official Seed Analysts (AOSA, 1983). La vitesse de germination peut être évaluée par l'indice de vitesse de germination (IVG), défini comme suit :

$$VG\% = (G1/N1) + (G2/N2) + \dots + (Gn/Nn)$$

Où :

G1, G2, ..., Gn sont les nombres de graines germées aux jours N1, N2, ..., Nn.

Deuxième essai

3.5. Lieu de la zone de prélèvement

Le sol utilisé pour cette expérience a été prélevé le moins de mars 2025 dans la région de ethnica (wilaya de Mila).

3.6. Substrat utilisé et conditions expérimentales

Le sol utilisé pour cette expérience .Il a été homogénéisé puis mélangé avec de la tourbe (3 :1) afin d'améliorer ses propriétés physiques, notamment la rétention en eau. Ce mélange a ensuite été réparti dans des pots plastiques identiques.

L'expérience a été réalisée en plein air dans un laboratoire, sous des conditions naturelles (lumière, température ambiante ($25^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$), pendant une durée de 30 jours.

3.7. Méthodologie

Les graines de *Peganum harmala* L. ont été réparties de manière aléatoire dans les différents pots, pour éviter tout biais lié à leur position ou à leur lot d'origine.

3.8. Disposition expérimentale

On a utilisé un total de 12 pots (7×8cm) dans cette expérience (**figure 10**).

3 pots ont servi de témoin (0 g/L de NaCl, arrosés uniquement à l'eau distillée).

Les 9 autres pots ont été divisés en trois groupes recevant respectivement les concentrations suivantes de NaCl :

- C1 : 2,5 g/L (NaCl).
- C2 : 5 g/L (NaCl).
- C3 : 10 g/L (NaCl).

Chaque concentration a été appliquée à 3 pots (soit 3 répétitions par traitement).

En commencement traitement par les solutions salinées avec un arrosage régulier par différentes concentrations salines pendant un mois (mai):

- 1^{er} jour arrosage par les solutions salines.
- 2^{ème} jour arrosage par l'eau.
- 3^{ème} jour sans arrosage.



Figure 10 : Le dispositif expérimental (photo personnelle, 2025)

3.9. Paramètres étudiés

3.9.1. Longueur de la racine (cm)

Il s'agit de la distance entre la base de la plante (collet) et l'extrémité de la racine pivotante. Cette mesure permet d'évaluer la capacité de la plante à explorer le sol et à accéder à l'eau et aux nutriments en profondeur (Taiz *et al.*, 2015).

3.9.2. Longueur de la tige (cm)

C'est la mesure verticale de la plante depuis le collet jusqu'au sommet de la tige principale. Elle permet d'apprécier la croissance aérienne de la plante dans les conditions expérimentales (Salisbury & Ross, 1992).

3.9.3. Nombre de feuilles

Le nombre de feuilles bien développées présentes sur chaque plantule à un moment donné. Ce paramètre est un indicateur de la vigueur de la plante et de son activité photosynthétique (Larcher, 2003).

3.9.4. La masse fraîche (g)

Poids de la plante immédiatement après la récolte, sans aucun séchage. Elle donne une estimation de la matière végétale produite, incluant l'eau contenue dans les tissus (Basu *et al.*, 2016).

3.9.5. La masse sèche (g)

Poids de la plante après séchage à 70 °C pendant 48 à 72 heures, jusqu'à stabilisation du poids. Elle reflète la production réelle de matière organique par la plante, excluant l'eau (Poorter & Nagel, 2000).

3.10. Etude anatomique

Une approche de la structure anatomique de l'espèce étudiée s'avère intéressante. D'après (Saadoun, 2005), L'étude anatomique consiste à réaliser des coupes transversales de tiges, feuilles et racines au moyen d'une lame de rasoir puis les colorer. Cette méthode repose sur l'utilisation de certains colorants: vert de méthyle, rouge Congo ou le carmino-vert de Mirande, ou bien vert de méthyle et carmin aluné. Elle permet de colorer spécifiquement les parois cellulaires en fonction de leur composition chimique.

Le principe de coloration des coupes levées repose sur les étapes suivantes (**figure 11**) :

- Au début de l'étude, nous avons retiré les plantules des pots et immergé leurs racines dans l'eau afin d'éliminer l'excès de terre. Ensuite, les plantules ont été immédiatement placées dans quatre boîtes de Pétri, chacune contenant de l'eau pour éviter leur dessèchement.
- Réalisation de coupes à la main: à l'aide d'un simple rasoir, l'organe est débité en tranches de quelques micromètres d'épaisseur, pour que les rayons lumineux puissent le traverser.
- Les coupes sont plongées avant toute coloration, dans un bain d'hypochlorite de sodium à 12% pendant un quart d'heure pour évider le contenu des cellules.
- Rinçage à l'eau distillée.
- Immersion dans l'acide acétique à 2% pendant 5 minutes afin de fixer éventuellement les colorants sur les cellules et enlever toute trace d'hypochlorite de sodium.
- Rinçage sommaire à l'eau distillée.
- Immersion dans le double colorant (vert de méthyle / rouge Congo) pendant 10 à 15 minutes.
- Rinçage à l'eau distillée, puis montage des coupes les plus fines entre lame et lamelle.
- Observation au microscope muni d'un appareil photo numérique (optika).

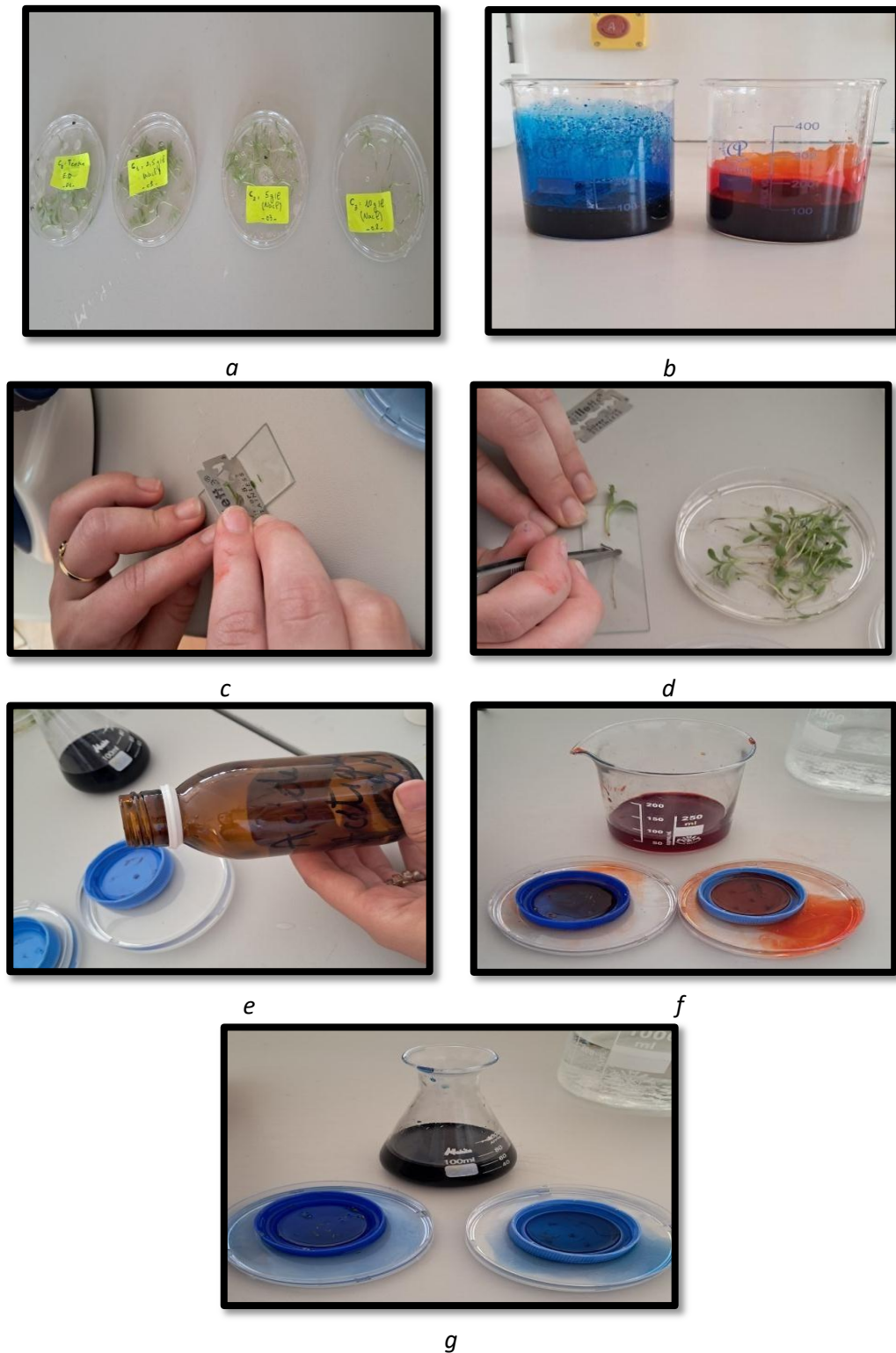
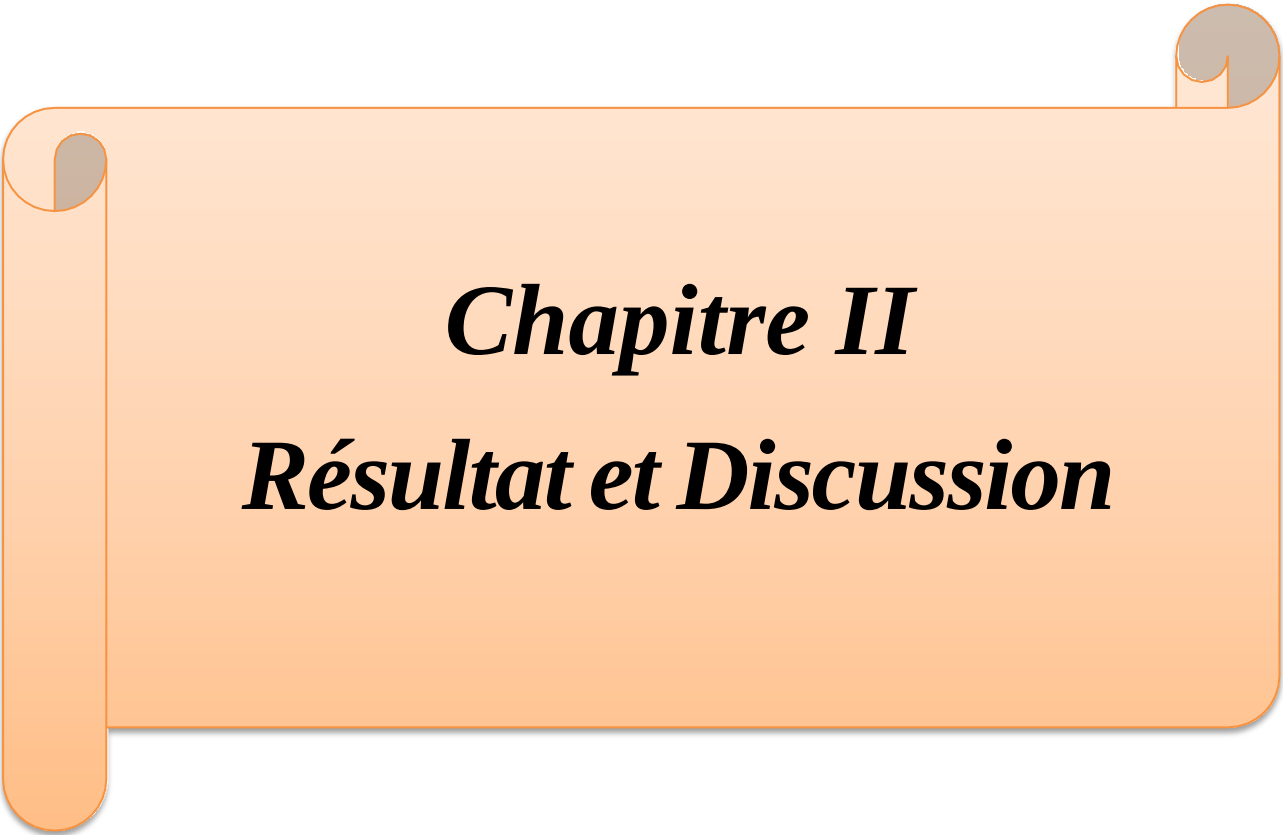


Figure11 : protocol de l'étude anatomiques (photo personnelle,2025)

3.11. Analyse statistique

L'étude statistique est réalisée à l'aide du logiciel XL STAT 2022 par l'analyse de la variance (ANOVA) entre les différents paramètres étudiés, chaque donnée constitue la moyenne d'au moins trois mesures. Pour des moyennes, le test de Newman-keuls au seuil de 5% a été utilisé.

An orange scroll graphic with a light orange gradient and a darker orange border. It has a vertical strip on the left side and two circular tabs on the top right and bottom left. The text is centered on the scroll.

Chapitre II

Résultat et Discussion

1. Résultat

L'effet de la salinité sur la germination de *Peganum harmala* L. a été évalué à travers quatre répétitions par traitement sur une période de 10 jours. La salinité a influencé de manière significative sur la germination et le développement de *Peganum harmala* L. les concentrations de NaCl testées étaient de 0 g/L (témoin), 2,5 g/L, 5 g/L et 10 g/L. Les relevés ont été effectués tous les deux jours (J2, J4, J6, J8 et J10).

1.1. Taux de germination final

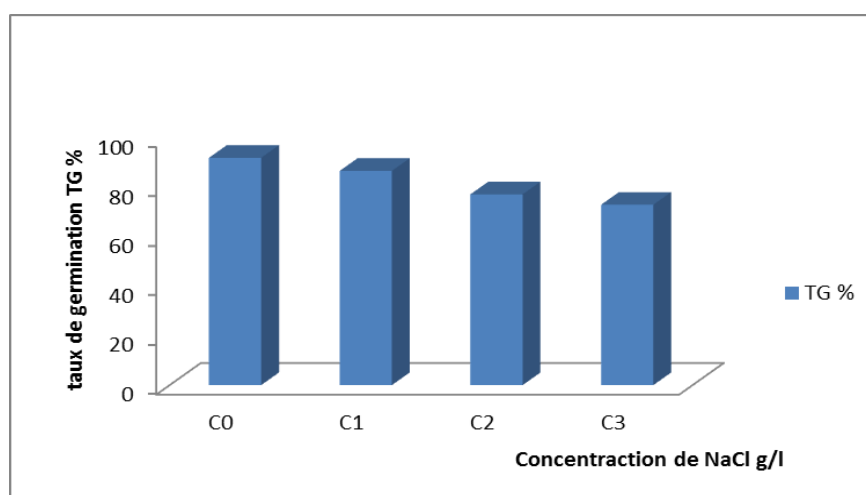


Figure 12 : Effet de la salinité sur le taux de germination final chez la plante *Peganum harmala* L. (C0 = 0g/l, C1= 2,5g/l, C2=5g/l, C3=10g/l)

Les résultats qui montre dans la (**figure12**) révèlent une variation notable du taux de germination en fonction d'effet de différents concentration de NaCl. Le témoin (C0) enregistre le taux de germination le plus élevé soit 92 %, traduisant une capacité germinative maximale en conditions non traitées. À l'opposé le traitement le plus concentré (C3) présente la valeur la plus faible avec un taux de germination de 73 %.

L'analyse de la variance (**tableau 05**) a montré une différence significative de taux de germination chez *Peganum harmala* L. dans les trois concentrations de NaCl.

Tableau 05 : Analyses de la variance relative à l'effet du NaCl sur le taux de germination chez *Peganum harmala* L.

Analyse de la variance (TG)

Codes de signification des p-valeurs	Pr > F	F	Moyenne des carrés	Somme des carrés	DDL	Source
**	0.004	7.668	77.477	232.430	3.000	Modèle
			10.103	121.240	12.000	Erreur
				353.670	15.000	Total corrigé

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

Codes de signification : $0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ^\circ < 1$

1.2. La vitesse de germination

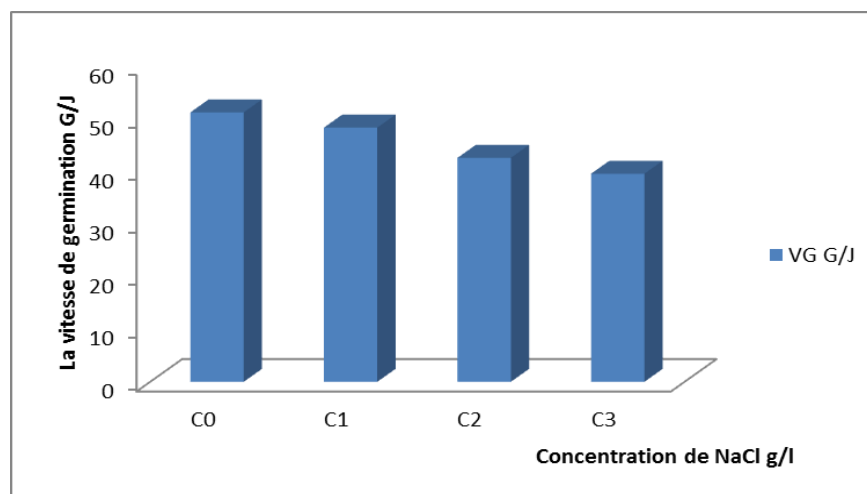


Figure 13 : Effet de la salinité sur la vitesse de germination chez la plante *Peganum harmala* L. (C0 = 0g/l, C1= 2,5g/l, C2=5g/l, C3=10g/l)

Les résultats (**figure 13**) montrent une variation notable de la vitesse de germination selon les différentes concentrations de NaCl. Nous avons observé la vitesse la plus élevée avec le témoin (C0) 51,09 graines/jour, traduisant une dynamique germinative optimale en l'absence de stress externe. En revanche, le traitement le plus concentré (C3) présente la

vitesse la plus faible soit 39,46 graines/jour, indiquant un ralentissement significatif du processus germinatif.

L'analyse de la variance (**tableau 06**) a montré une différence plus de hautement significative de vitesse de germination chez *Peganum harmala* L. dans les trois concentrations de NaCl.

Tableau 06 : Analyses de la variance relative à l'effet du NaCl sur la vitesse de germination chez *Peganum harmala* L.

Codes de signification des p-valeurs	de Pr F	> F	Moyenne des carrés	Somme des carrés	DDL	Source
****	0,000	0,0001	6.970	20.911	3.000	Modèle
	1					
			0.000	0.000	2.000	Erreur
				20.911	5.000	Total corrigé

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

Codes de signification : $0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ^\circ < 1$

1.3. Effet de la solution saline sur la germination des graines de *Peganum harmala* L.

Dans cette expérience, Les résultats ont montré que *Peganum harmala* L. :

Dans le témoin nous avons constaté que la pourcentage de germination de *Peganum harmala* L. n'excède pas 92% lorsque les graines étaient humidifiées avec de l'eau distillée (**figure 14**).

Dans les concentrations 2,5, 5 g/l et 10 g/l, les graines sont mise à germer cette étapes et tolérantes les stress saline, La réponse à la salinité peut être alors déduite : les semences de

Peganum harmala L. tolèrent la salinité jusqu'à la concentration 10g/l avec un taux de germination de 73% (figure 15, 16, 17).



Figure 14 : Germination des graines de *Peganum harmala* L. dans l'eau distillée
(Photo personnelle, 2025)



Figure 15 : Germination des graines de *Peganum harmala* L. dans solution salin (2.5g/l)
(Photo personnelle, 2025)



Figure 16 : Germination des graines de *Peganum harmala* L. dans solution salin (5g/l)
(Photo personnelle, 2025)



Figure 17 : Germination des graines de *Peganum harmala* L. dans solution salin (10g/l)
(Photo personnelle, 2025)

1.4. Les effets de salinité sur le nombre des feuilles

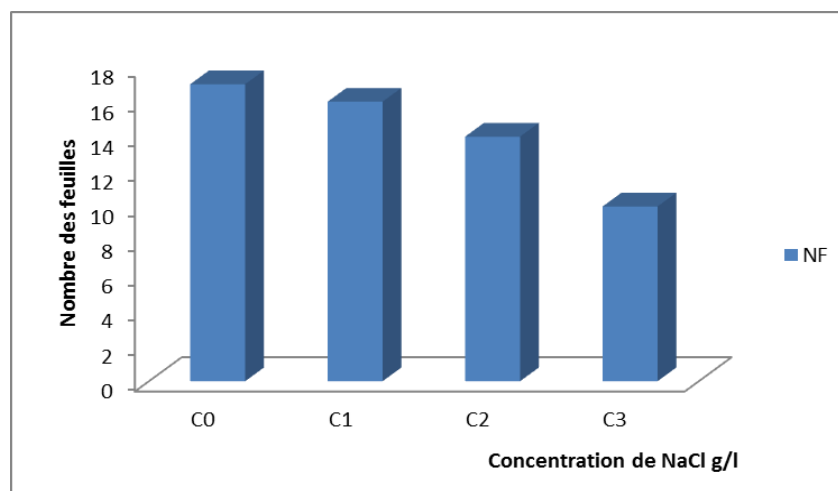


Figure 18 : Effet de la salinité sur le nombre des feuilles dans la phase végétative chez la plante *Peganum harmala* L. (C0 = 0g/l, C1= 2,5g/l, C2=5g/l, C3=10g/l)

L'observation du nombre de feuilles formées selon les différents traitements révèle une tendance décroissante avec l'augmentation des concentrations appliquées. Le témoin (C0) présente le nombre moyen de feuilles le plus élevé soit 17, ce qui traduit un développement foliaire optimal en l'absence de contrainte externe. À l'inverse le traitement le plus concentré (C3) enregistre le nombre de feuilles le plus faible avec seulement 10 feuilles en moyenne indiquant une réduction marquée du développement végétatif.

L'analyse de la variance (**tableau 07**) a montré une différence significative de nombre des feuilles chez *Peganum harmala* L. dans les trois concentrations de NaCl.

Tableau 07 : Analyses de la variance relative à l'effet du NaCl sur le nombre des feuilles chez *Peganum harmala* L.

Analyse de la variance (NF)

Codes de signification des p-valeurs	Pr > F	F	Moyenne des carrés	Somme des carrés	DDL	Source
**	0.003	8.444	3.167	9.500	3.000	Modèle
			0.375	4.500	12.000	Erreur
				14.000	15.000	Total corrigé

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

Codes de signification : $0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ^\circ < 1$

1.5. Les effets de salinité sur la longueur des tiges

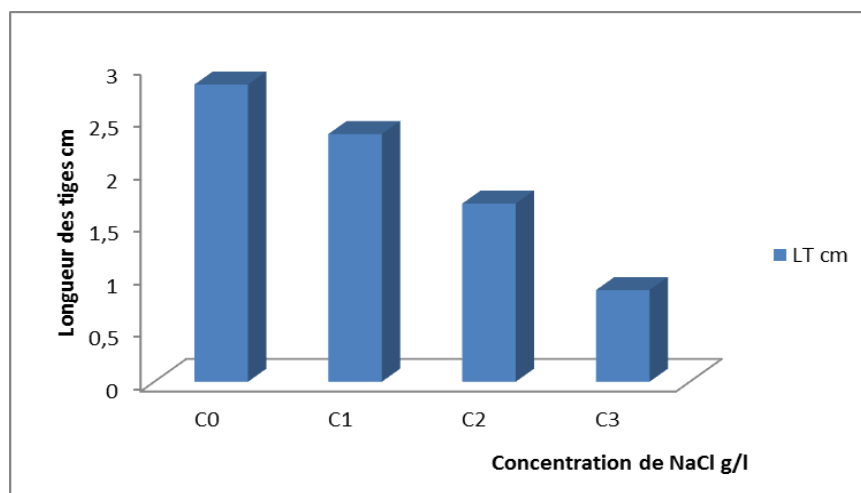


Figure 19 : Effet de la salinité sur la longueur des tiges dans la phase végétative chez la plante *Peganum harmala* L. ($C0 = 0\text{g/l}$, $C1 = 2,5\text{g/l}$, $C2 = 5\text{g/l}$, $C3 = 10\text{g/l}$)

La longueur des tiges présente une diminution progressive en fonction de l'augmentation des concentrations de traitement. Le témoin ($C0$) affiche la plus grande longueur avec 2,82 cm indiquant un développement normal en l'absence de stress. En revanche, le traitement le plus concentré ($C3$) enregistre la plus faible longueur soit 0,87 cm, traduisant une inhibition marquée de la croissance aérienne.

L'analyse de la variance (**tableau 08**) a montré une différence hautement significative de longueur des tiges chez *Peganum harmala* L. dans les trois concentrations de NaCl.

Tableau 08 : Analyses de la variance relative à l'effet du NaCl sur de longueur des tiges chez *Peganum harmala* L.

Analyse de la variance (LT)

Codes de signification des p-valeurs	Pr > F	F	Moyenne des carrés	Somme des carrés	DDL	Source
***	0.000	15.041	1.421	4.262	3.000	Modèle
			0.094	1.133	12.000	Erreur
				5.395	15.000	Total corrigé

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

Codes de signification : $0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ^\circ < 1$

1.6. Les effets de salinité sur la longueur des racines

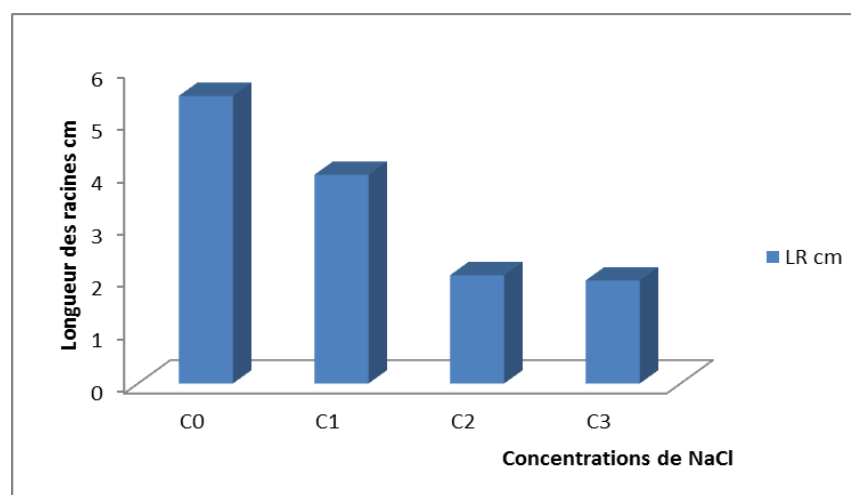


Figure 20 : Effet de la salinité sur la longueur des racines dans la phase végétative chez la plante *Peganum harmala* L. (C0 = 0g/l, C1= 2,5g/l, C2=5g/l, C3=10g/l)

Les résultats (**figure 20**) révèlent une réduction progressive de la longueur des racines avec l'augmentation des concentrations de traitement. Le témoin (C0) enregistre la valeur maximale (5,47 cm), indiquant une croissance racinaire optimale en conditions non traitées. En revanche

la plus faible longueur est observée chez le traitement le plus concentré (C3), avec seulement 1,69 cm.

L'analyse de la variance (**tableau 09**) a montré une différence hautement significative de longueur des racines chez *Peganum harmala* L. dans les trois concentrations de NaCl.

Tableau 09 : Analyses de la variance relative à l'effet du NaCl sur de longueur des racines chez *Peganum harmala* L.

Analyse de la variance (LR)

Codes de signification des p-valeurs	de Pr > F	F	Moyenne des carrés	Somme des carrés	DDL	Source
***	<0.0001	132.936	12.329	36.988	3.000	Modèle
			0.093	1.113	12.000	Erreur
				38.101	15.000	Total corrigé

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

Codes de signification : $0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ^\circ < 1$

1.7. Les effets de salinité sur la masse fraîche et la masse sèche

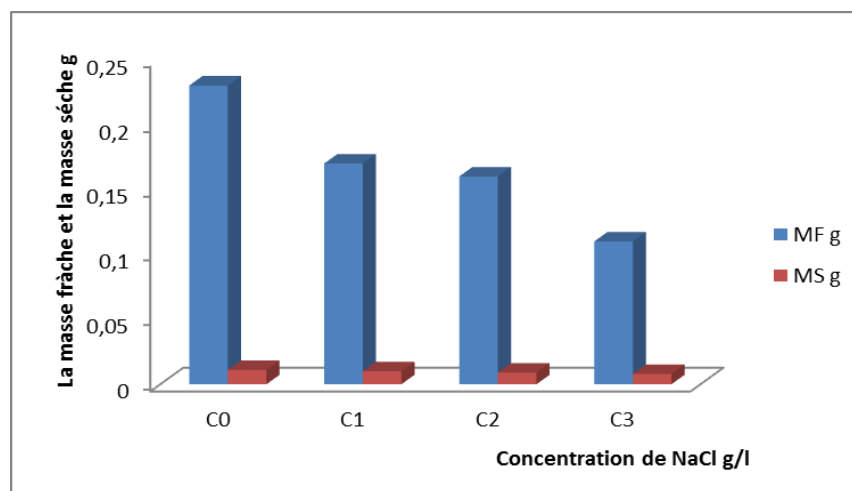


Figure 21 : Effet de la salinité sur la masse fraîche et la masse sèche dans la phase végétative chez la plante *Peganum harmala* L. (C0 = 0g/l, C1= 2,5g/l, C2=5g/l, C3=10g/l)

Les résultats montrent que la masse fraîche et la masse sèche diminuent avec l'augmentation des concentrations de traitement. Le témoin (C0) présente les valeurs les plus élevées (0,23 g pour la masse fraîche et 0,011 g pour la masse sèche), traduisant une croissance optimale en absence de stress. À l'inverse le traitement le plus concentré (C3) affiche les valeurs les plus faibles (0,11 g et 0,008 g) indiquant une réduction significative de la biomasse.

L'analyse de la variance (**tableau 10**) a montré une différence plus de hautement significative de la masse fraîche chez *Peganum harmala* L. dans les trois concentrations de NaCl.

Tableau 10 : Analyses de la variance relative à l'effet du NaCl sur la masse fraîche chez *Peganum harmala* L.

Analyse de la variance (PF)

Codes de significatio n des p- valeurs	Pr > F	F	Moyenne des carrés	Somme des carrés	DDL	Source
****	0.0001	0.0001	0.001	0.002	3.000	Modèle
			0.000	0.000	12.000	Erreur
				0.002	15.000	Total corrigé

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

Codes de signification : $0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ^\circ < 1$

L'analyse de la variance (**tableau 11**) a montré une différence significative de la masse sèche chez *Peganum harmala* L. dans les trois concentrations de NaCl.

Tableau 11 : Analyses de la variance relative à l'effet du NaCl sur la masse sèche chez *Peganum harmala* L.

Codes de signification des p-valeurs	Pr > F	F	Moyenne des carrés	Somme des carrés	DDL	Source
**	0.003	8.444	3.167	9.500	3.000	Modèle
			0.375	4.500	12.000	Erreur
				14.000	15.000	Total corrigé

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

Codes de signification : $0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ^\circ < 1$

1.8. Corrélation entre les paramètres morphologiques de *Peganum harmala* L testés dans les conditions salines

D'après l'analyse en composant principales (ACP), le **tableau (12)**, expliquent clairement la corrélation entre les différents paramètres dans les conditions salines.

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0.05$

Tableau 12 : Matrice de corrélation entre les paramètres morphologiques chez *Peganum harmala* L.

Matrice de corrélation (Pearson (n)) :						
VG	PS	PF	NF	LR	LT	Variables
0.878	0.877	0.813	0.636	0.916	1	LT
0.967	0.967	0.899	0.688	1	0.916	LR
0.763	0.769	0.753	1	0.688	0.636	NF
0.923	0.942	1	0.753	0.899	0.813	PF
0.999	1	0.942	0.769	0.967	0.877	PS
1	0.999	0.923	0.763	0.967	0.878	VG

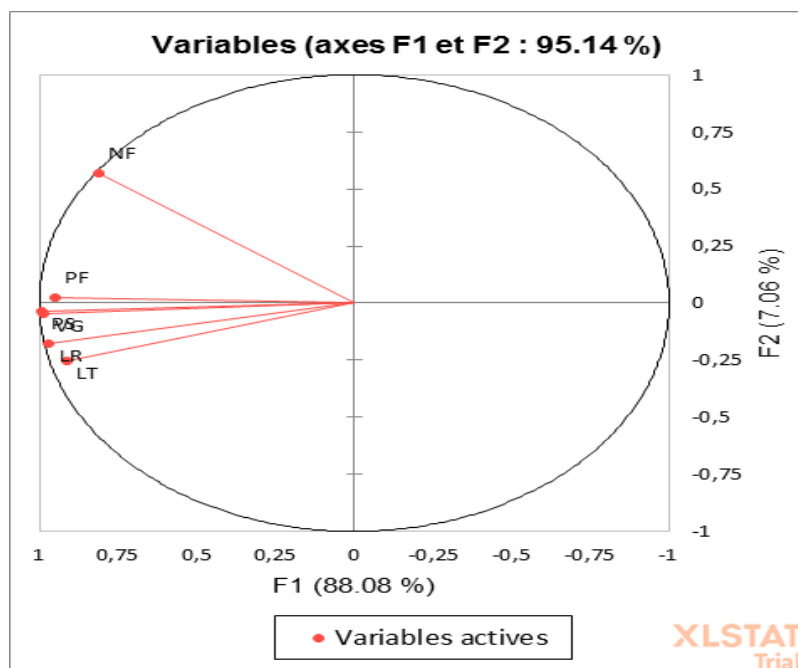


Figure 22 : Cercle des corrélations des variables étudiées durant la phase de croissance végétatif

1.9. Effet de la solution saline sur le développement des graines de *Peganum harmala* L.

L'observation visuelle des plantules de *Peganum harmala* L. cultivées sous différentes concentrations de NaCl montre un effet net de la salinité sur le développement. À la concentration témoin (C_0) (**Figure 23**), les plantules présentent une germination abondante, homogène et un développement vigoureux avec des feuilles bien vertes et allongées. Ce groupe illustre le développement optimal en absence de stress salin.

À 2,5 g/L (C_1) (**Figure 24**), la croissance est légèrement réduite mais la densité de plantules reste relativement élevée. Toutefois, on remarque déjà un léger ralentissement de la croissance et une taille légèrement inférieure des plantules par rapport au témoin.

À 5 g/L (C_2) (**Figure 25**), l'effet du stress salin devient plus apparent. La densité de plantules est visiblement réduite et les jeunes pousses sont plus petites et moins vigoureuses. Cela indique un effet inhibiteur progressif de la salinité sur la germination et la croissance initiale.

Enfin, à 10 g/L (C_3) (**Figure 26**), le stress salin est clairement limitant : le nombre de plantules est très réduit leur développement est faible avec une croissance ralentie et un aspect général affaibli. Cela suggère que cette concentration dépasse le seuil de tolérance de l'espèce à la salinité dans les conditions



Figure 23: Effet de la solution saline sur le développement des graines de *Peganum harmala* L. dans l'eau distillée (**Photo personnelle, 2025**)



Figure 24: Effet de la solution saline sur le développement des graines de *Peganum harmala* L. (2,5g/l) (**Photo personnelle, 2025**)



Figure 25: Effet de la solution saline sur le développement des graines de *Peganum harmala* L.(5g/l) (Photo personnelle, 2025)



Figure 26: Effet de la solution saline sur le développement des graines de *Peganum harmala* L.(10g/l) (Photo personnelle, 2025)

1.10. Effet de la salinité sur l'anatomie de la feuille de *Peganum harmala* L.

Sur les coupes transversales (**Figure 27**), on observe que la feuille est constituée:

1. Épiderme supérieur

Couche de cellules protectrices, généralement une seule assise.

Peut être recouverte d'une cuticule cireuse.

2. Parenchyme palissadique (ou tissu palissadique)

Cellules allongées riches en chloroplastes.

Principal lieu de la photosynthèse.

Bien développé surtout dans les feuilles de C₃.

3. Parenchyme lacuneux (ou spongieux)

Cellules arrondies avec des espaces intercellulaires.

Permet les échanges gazeux (CO₂, O₂).

4. Nervure centrale (ou faisceau vasculaire)

Composée de :

Xylème : transporte l'eau et les sels minéraux.

Phloème : transporte la sève élaborée (nutriments).

5. Épiderme inférieur

Similaire à l'épiderme supérieur.

Contient souvent des stomates (pores pour les échanges gazeux).

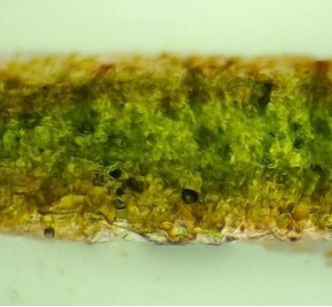
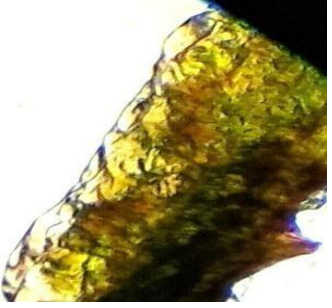
6. Chloroplastes

Elle présents dans les tissus mysophilique surtout dans les tissus basidio mosophylle.

Organe responsable de la photosynthèse (d'où la coloration verte à la microscopie).

7. Cellules mécaniques (collenchyme sclérenchyme) (parfois observées)

Peuvent renforcer les tissus, surtout près des nervures.

GX C (g/l)	Coupe transversale (GX40)	Coupe transversale (GX100)
C0 (T)		
C1(2,5g/l)		
C2 (5g/l)		

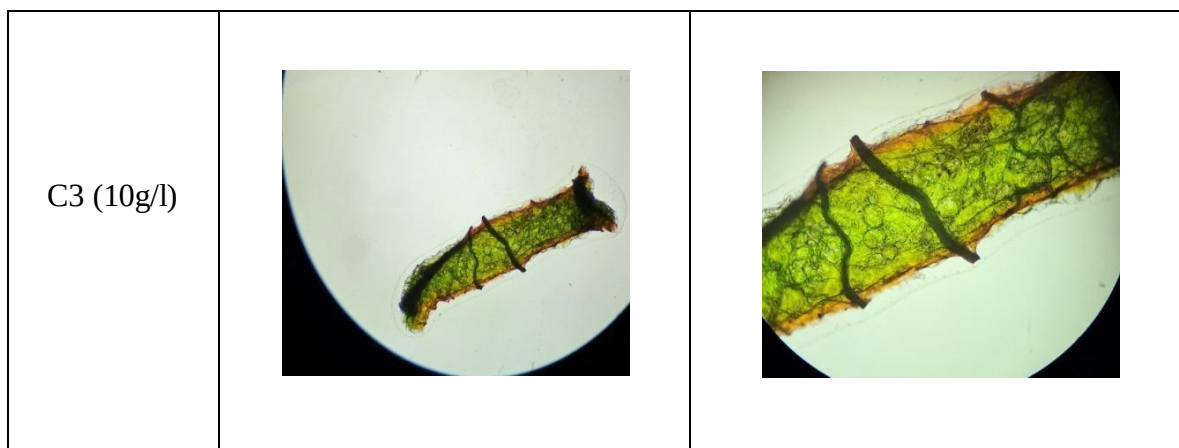


Figure 27 : Coupes transversales au niveau de la feuille de *Peganum harmala* L.

Les coupes transversales des feuilles de *Peganum harmala* L. révèlent une altération progressive de la structure anatomique avec l'augmentation de la concentration en traitement (de C0 à C3). À la concentration témoin (C0), la structure foliaire est bien organisée, avec une différenciation nette des tissus. À 2,5 g/L (C1), on observe un début de déformation notamment un enroulement des tissus et un relâchement de l'architecture cellulaire. Cette dégradation devient plus marquée à 5 g/L (C2), avec une perte de turgescence et une désorganisation accrue. À la concentration la plus élevée (C3, 10 g/L), la coupe montre une fragmentation importante suggérant un effet toxique du traitement sur l'intégrité des tissus foliaires.

1.11. Effet de la salinité sur l'anatomie de la racine de *Peganum harmala* L.

Sur les coupes transversales (**Figure 28**), on observe que la racine est constituée:

1. Épiderme (ou rhizoderme)

Couche externe, souvent fine, parfois détruite dans les racines âgées.

2. Cortex (ou parenchyme cortical)

Zone située entre l'épiderme et l'endoderme.

Tissu parenchymateux formé de cellules vivantes à parois minces.

3. Endoderme

Couche de cellules compactes qui entoure le cylindre central.

Présente la bande de Caspary (imperméable), régulant l'entrée de l'eau et des sels vers le cylindre central, bien visible sur les colorations.

4. Péricycle

Juste sous l'endoderme, couche de cellules pouvant donner naissance aux racines secondaires. il entoure les tissus vasculaires.

5. Xylème (bois)

Tissu conducteur de la sève brute (eau et sels minéraux).

Formé de vaisseaux ou de trachéides lignifiés.

6. Phloème (liber)

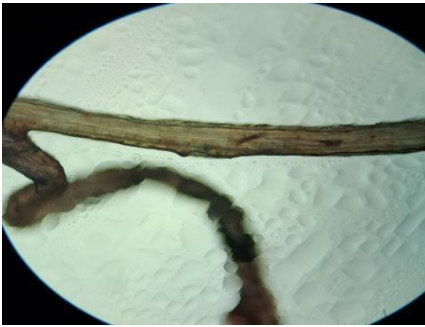
Tissu conducteur de la sève élaborée (produits de la photosynthèse).

Formé de tubes criblés et cellules compagnes.

7. Cambium (si présent dans les racines secondaires âgées)

Responsable de la croissance secondaire.

Le cycle de cambium compose par les cellules de zone de pérécycle avec le méristème intro vasculaire.

GX C (g/l)	Coupe transversale (GX40)	Coupe transversale (GX100)
C0 (T)		

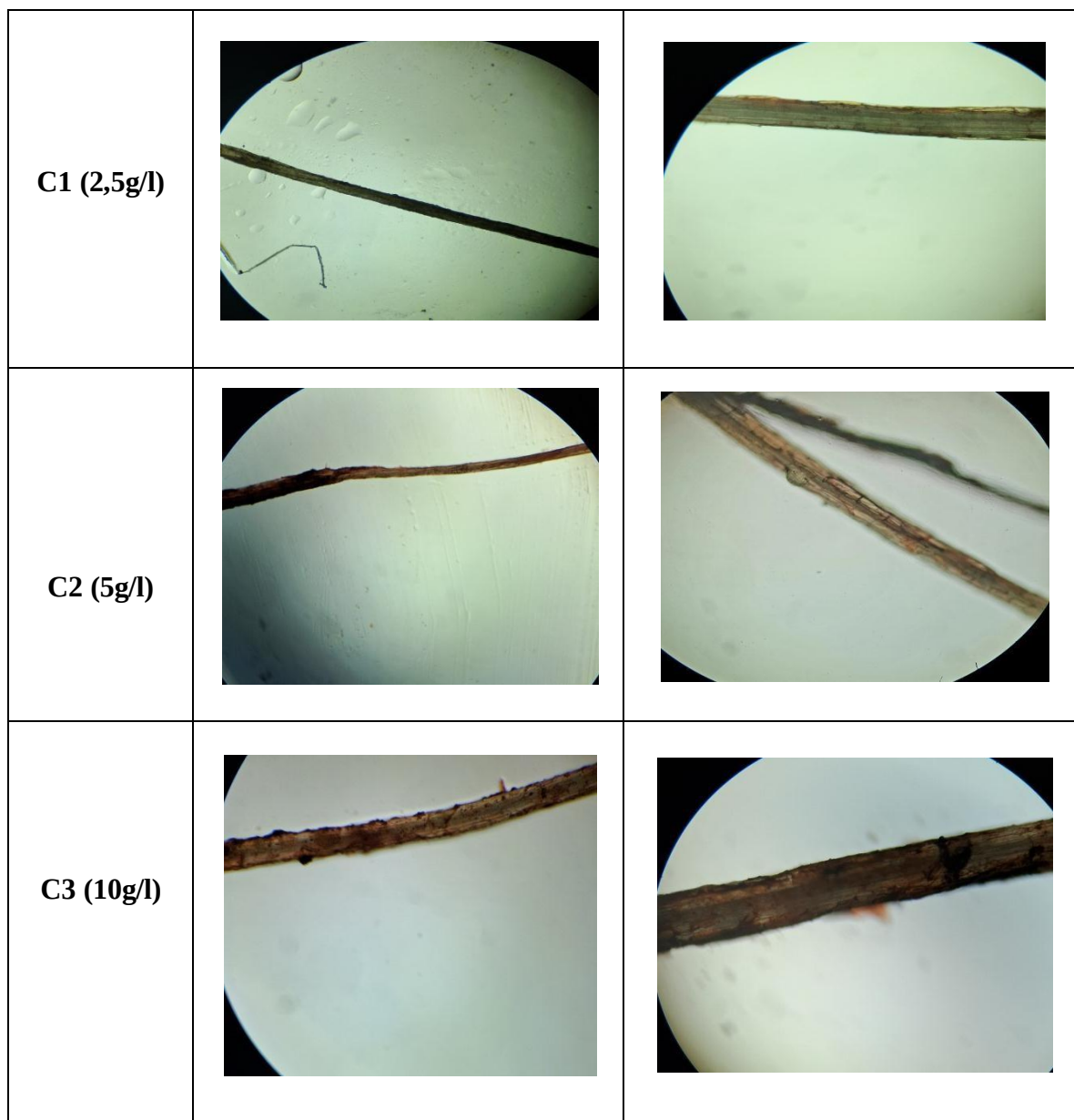


Figure 28 : Coupes transversales au niveau de la racine de *Peganum harmala* L.

Les coupes transversales des racines révèlent une altération structurale progressive selon la concentration croissante du traitement. À l'état témoin (C0), la racine présente une structure compacte et bien organisée avec un cortex et un cylindre central intacts. Dès 2,5 g/L (C1), une légère déformation de la zone corticale apparaît. À 5 g/L (C2), on note un amincissement des tissus et une perte de netteté des limites anatomiques. Enfin, à 10 g/L (C3), la racine montre une désorganisation avancée avec un affaiblissement visible de la cohésion tissulaire traduisant un effet toxique significatif du traitement sur l'intégrité anatomique de la racine.

2. Discussion

Selon la comparaison entre des résultats des trois solutions saline avec le témoin ont discuté cette résultat par:

2.1. Effets de la salinité sur les paramètres physiologiques

- Taux et vitesse de germination

D'une façon générale nous avons constaté que la germination diminue avec l'augmentation de l'intensité du stress salin. En effet, pour s'adapter au stress salin, la plante peut éviter les dommages par la réduction de la croissance (**Lamzeri, 2007**). C'est l'effet le plus commun des stress abiotiques sur la physiologie des plantes. La réduction de la germination est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En fait, ce retard de germination permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages seront irréversibles (**Bois, 2005**).

L'étude des effets de différentes concentrations de solution salin sur la germination des graines de *Peganum harmala* L. a montré que la capacité germinative est affectée par l'augmentation de la concentration des sels. L'influence de la salinité sur le pouvoir germinatif de *Peganum harmal* L. a s'est manifestée par une réduction de la vitesse de germination par rapport aux témoins, réduction d'autant plus importante que la concentration en est élevée. de 92 % à C0 (témoin) à 73 % à C3 (forte salinité). La vitesse de germination suit la même tendance passant de 51,09 graines/jour à C0 à 39,46 graines/jour à C3. Cette réduction peut être attribuée à une baisse du potentiel hydrique du substrat entravant l'imbibition des graines, ainsi qu'à un stress ionique perturbant les processus métaboliques essentiels à la germination. Ces résultats viennent confirmer les effets relevés à travers des études antérieures, exercés par la salinité sur le processus de germination (**Okçu et al., 2005**).

Ont démontré que l'application de différents niveaux de solution saline induit une réduction significative du taux de germination final et L'effet de solution saline sur le comportement germinatif de *Peganum harmala* L.

La réponse des graines de *Peganum harmala* L. à divers solutions salines pourraient être dues à l'impact varié du sel composant sur la perméabilité de la membrane la toxicité et la structure de la paroi cellulaire (**Tobe et al., 2004**). D'après (**Ben Miled et al., 1986**), ce retard

peut-être expliqué par le temps nécessaire à la graine pour mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne. Alors que **(Ghrib et al., 2011)**, ont expliqué que ce retard pourrait être dû à l'altération des enzymes et des hormones qui se trouvent dans la graine.

La diminution de l'indice de germination correspond soit à une augmentation de la pression osmotique externe, ce qui affecte l'absorption de l'eau par les graines es/ou bien à accumulation des ions (Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- et SO_4^{2-}) dans l'embryon. Cet effet toxique peut conduire à L'altération des processus métabolique de la germination et dans le cas extrême à la mortde l'embryon par excès d'ions.

L'étude de la cinétique de germination montre qu'un le retard de la germination des graines ainsi que la diminution de la germination journalière de cette espèce avec L'augmentation de la concentration saline est expliquée par les tempes nécessaire à la graine de mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne **(Bliss et al., 1986)**.

2.2. Effets de la salinité sur les paramètres morphologiques

Le stress abiotique se traduit par des changements morphologiques qui affectent négativement sur la croissance et le développement de la plante et sa productivité.

Concernant la croissance l'effet général de la salinité se traduit par la réduction de la longueur des tiges, racines et le nombre des feuilles est peut s'expliquer par des problèmes ioniques **(Epron et al., 1999 in Durand, 2007)**.

Dans les racines, aussi, il ya des réductions rapides et transitoires des taux de croissance après des hausses soudaines de NaCl **(Rodríguez et al., 1997)**.

D'une façon générale, nous avons constaté que la croissance en longueur des tiges, des racines et nombre des feuilles diminue avec l'augmentation de l'intensité du stress salin.

L'augmentation de la teneur en NaCl dans l'eau d'irrigation provoque la réduction de la longueur des tiges et la longueur des racines de *Peganum harmala* L. étudiées. La salinité réduit la capacité des plantes à absorber l'eau, ce qui provoque rapidement des réductions de taux de croissance **(Munns, 2002)**. La diminution de la croissance de l'appareil végétatif chez

la plante de *Puganume harmala* L. le nombre de feuilles a été diminuée chez C3 par apport témoin C0, peut être expliquée par le fait que le NaCl agit par augmentation de la pression osmotique du milieu ce qui empêche l'absorption de l'eau par le système racinaire. Ceci entraîne par conséquent une réduction de la croissance qui est le résultat au niveau cellulaire d'une baisse du nombre de divisions cellulaires (**Benamar et al., 2009**). On a également observé une diminution significative de la masse fraîche et de la masse sèche.

La réduction de la croissance peut résulter de l'augmentation de la concentration en acide abscissique dans la partie aérienne ou d'une réduction des concentrations en cytokinine (**Itai, 1999**). En plus du contrôle de la croissance par les signaux hormonaux la réduction de croissance résulte de la dépense de ressources dans les stratégies d'adaptation (**Binzel M.L et al., 1985**)

2.3. Effets anatomiques du stress salin sur les feuilles et les racines :

Les effets de la salinité se manifestent au niveau de la plante entière à des degrés variables, mais sont plus perceptible à l'échelle anatomique D'autre part, La réponse varie d'un organe à un autre d'une espèce à l'autre, selon la nature et l'intensité du stress.

Les résultats de l'étude anatomique ont montré au niveau de feuille et racine que les traitements salins à fortes ou moyennes intensités sont capables d'induire des changements au niveau structural En effet, le stress salin provoque des altérations de la structure et la fonction de cellules végétales (**Henry et al., 2012**).

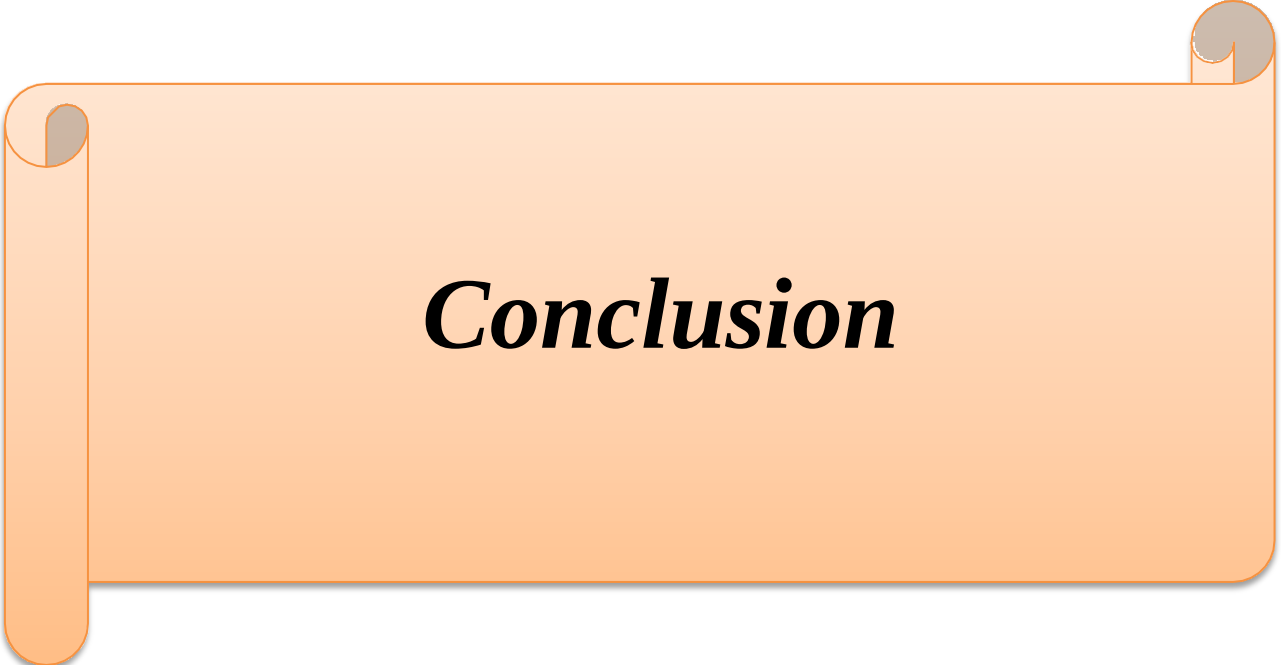
Un tel changement dans la structure anatomique joue certainement un rôle déterminant en combinaison avec des modifications physiologiques dans la tolérance des espèces vivant sur des sols affectés par la salinité (**Hameed et al., 2010**). Des modifications anatomiques apparaissent au niveau des différents organes lors d'un stress salin. Selon (**Poljakoff, 1975**), on observe des modifications du cortex qui chez les halophytes est constitué de deux à trois couches de cellules seulement, ainsi qu'une diminution du diamètre de la stèle au niveau des racines où le cortex devient épais alors que le nombre de vaisseaux conducteurs diminue. D'autres modifications s'observent sous l'effet de la salinité comme la raréfaction des stomates

la présence de tissus de soutien et l'abondance du parenchyme aquifère (**Benhamida et Djeghbala, 2005**).

Les résultats de l'étude anatomique ont montré que tous les traitements salins sont capables d'induire des changements au niveau structural chez les feuilles et les racines de *Peganum harmala* L. Anatomiquement, les résultats montrent que le diamètre des cellules des différents tissus change selon la concentration du sel. Ces résultats sont en accord avec ceux (**d'Akram et al., 2002**) obtenus sur le blé soumis à une contrainte saline. Ces auteurs révèlent une diminution de la taille du parenchyme cortical et médullaire. Chez certaines plantes succulentes la réaction est inversée la surface des parenchymes cortical et médullaire augmente face au stress salin, phénomène qui a été observé chez les feuilles et les racines le *Peganum harmala* L. (**Hameed et al., 2010**). Bien que les adaptations physiologiques soient cruciales dans l'identification et la sélection des critères contre le stress salin (**Ashref, 2004**), mais les modifications anatomiques sous de fortes concentrations de salinité sont aussi importantes (**Mass et Nieman, 1975 ; Fahn, 1990 ; Hameed et al., 2010**). Un tel changement dans la structure anatomique joue certainement un rôle déterminant en combinaison avec des modifications physiologiques dans la tolérance des espèces vivant sur des sols affectés par la salinité (**Hameed et al., 2010**).

Nos observations sur les coupes anatomiques montrent que y a un amincissement des tissus une réduction des cellules photosynthétiques et des altérations des tissus conducteurs.

Les modifications structurelles induisent des altérations des cellules et des tissus pouvant modifier le comportement de croissance à différents niveaux d'organisation. Ces altérations comprennent les racines, les tiges et les feuilles des plantes stressées en comparaison avec les plantes témoins (**Reinoso et al., 2005**).

An orange scroll graphic with a light orange gradient and a thin orange border. It has a vertical strip on the left side and two circular tabs at the top corners. The word "Conclusion" is centered on the scroll in a bold, black, italicized serif font.

Conclusion

Conclusion

Dans les zones arides et semi-arides, la salinité est l'un des facteurs majeurs responsables de la détérioration des sols en les rendant impropres à l'agriculture.

Par leur concentration excessive en sels, les sols salins constituent un environnement défavorable pour la germination des graines est un ensemble de processus métaboliques aboutissent à l'émergence de la radicule. Ce stade de développement est considéré comme une étape critique dans l'établissement des semis et ainsi la détermination d'une production agricole réussie.

L'étude menée sur *Peganum harmala* L. a permis d'évaluer l'effet de la salinité sur plusieurs paramètres physiologiques, morphologiques et anatomiques de cette plante médicinale. À travers deux expérimentations complémentaires l'une en conditions contrôlées au laboratoire et l'autre en plein air sur sol naturel.

Les résultats obtenues, démontre que :

- Une diminution du taux de germination et vitesse de germination avec l'augmentation de la salinité(C3:10g/l).
- la salinité a également provoqué une réduction significative de la longueur des racines et des tiges, du nombre de feuilles, ainsi que de la biomasse fraîche et sèche surtout pour la concentration saline la plus sévère (C3 :10g/l).
- Anatomiquement, les feuilles et les racines de *Peganum harmala* L. montre un amincissement des tissus, une réduction des cellules photosynthétiques et des altérations des tissus conducteurs. . Ces altérations anatomiques traduisent une tentative de la plante d'adapter sa structure pour limiter la perte d'eau et faire face à l'accumulation de sels.

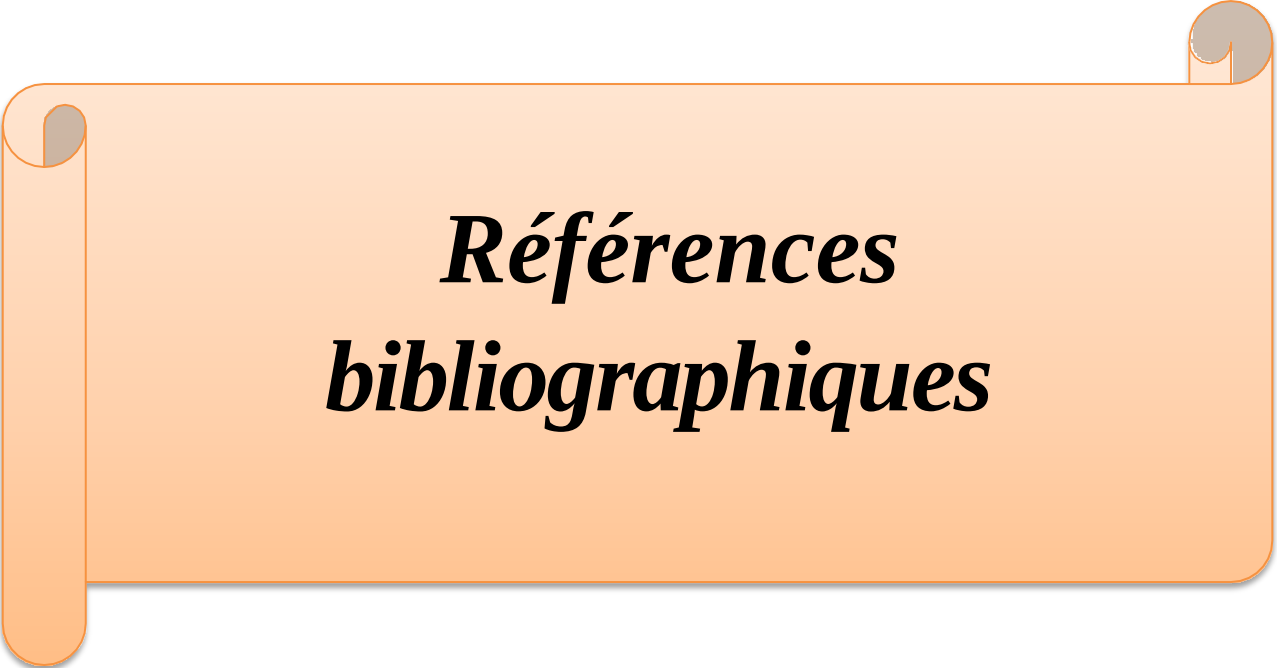
Ces résultats confirment que *Peganum harmala* L. présente une certaine tolérance à la salinité à faibles doses (C1: 2.5 g/l, C2 : 5 g/l) mais que son développement est sérieusement affecté à des concentrations plus élevées(C3:10g/l).

À la fin de ce travail, pour approfondir la compréhension des mécanismes de tolérance de *Peganum harmala* L. face au stress salin, plusieurs pistes peuvent être envisagées :

Conclusion

- Étudier l'effet de la salinité sur des périodes plus longues, incluant le stade de floraison et de fructification.
- Réaliser des analyses biochimiques (proline, enzymes antioxydants, contenu ionique) pour évaluer les réponses internes de la plante.
- Comparer la réponse d'autres espèces médicinales à celle de *Peganum harmala* L. dans des conditions similaires.

Cela permettrait de mieux comprendre les mécanismes d'adaptation de *Peganum harmala* L. et d'envisager son utilisation dans des zones salinisées.

An orange scroll graphic with a light orange gradient and a darker orange border. The scroll is unrolled in the center, with the ends of the scroll visible on the left and right sides. The text is centered on the unrolled portion.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Abbassi, K., Mergaoui, L., Atay, Z., KdiraI., Stambouli, A. et ghaout, S. (2003). Effets des extraits de *Peganum harmala* (Zygophyllaceae) sur le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria* Forskål. 1775). *Zool. baetica*. vol.13/14: 203-217.ISSN: 1130-4251

Abideen, Z., Ansari, R. and Khan, A.M. (2011). Halophytes: Potential source of ligno-cellulosic biomass for ethanol production. *Biomass and Bioenergy*. 35(5):1818-1822

Agastian, P., Kingsley S.J., and Vivekanandan, M. (2000): Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica* 38, 287–290.

Akram, M., Ahmad, A., & Janm, M. 2002. The Medicinal Plants 171 Of Salt Range. *J. Biol. Sci.*, 2: 1035-1046.

AL-rawahy, S.A, Stoehein, J.L., Pessarakli, M. (1992). Dry-mater yield and nitrogen-15, Na⁺, Cl⁻ and K⁺ conent of tomatoes under sodium chloride stress. *Journal of plant nutrition* 15(3): 341-358.

Ameziane, n., Boubaker, h., Boudyach, h., Msanda, f., Jilal, a., ait, and Benaoumar. A. (2007). Antifungal activity of Moroccan plants against citrus fruit pathogens. *Agron. Sustain. Dev.* 27:273–277. DOI: 10.1051/agro: 2007022

Ammari S. (2011). Contribution à l'étude de germination des graines des plantes sahariennes broutées par le dromadaire, 46p.

Andrew, C. (2001) : Encyclopédie des plantes médicinales, (traduire par Vican Pierre). 2nd ed. Ed. Larousse-Bordas.335p . ISBN: 2-03-560252-1

Antipoliss. (2003). Les cahiers du plan bleu 2. Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens Etude bibliographique.71 P.

Anzalaf .J. (2006). Contrôle de la vitesse de germination chez le maïs (*Zea mays*) : étude de la voie de biosynthèse de l'acide amine issue de l'aspartate et recherche de QTLs. Thèse de Doctorat. Université d'Angers.148p.

AOSA (1983). Seed Vigor Testing Handbook. Contribution No. 32 to the Handbook on Seed Testing. Association of Official Seed Analysts, Springfield, IL, USA.

Aouadhi, S. (2010). Atlas des risques de la phytothérapie traditionnelle étude De 57 plantes recommandées par les herboristes ,15-166.

Araus J. L; Slafer G.A; Reynolds M.P et Royo C. (2002). Plant breeding and drought in C-3 Cereals: what should webreed for? *Ann. Bot.* (89) 925-940.

- Arbaoui, M., Benkhelifa, M et Belkhodja, M. (2000).** Réponses physiologiques de quelques variétés de blé dur à la salinité au stade juvénile. CIHEAM - Options Méditerranéennes, pp. 167-169.
- Armin, M. S., Sultan-ahmad, E. and Massoud, M. (2002).** An in vitro evaluation of human DNA topoisomerase I inhibition by *Peganum harmala* L. seeds extract and Its β -carboline alkaloids. *J Pharm Pharmaceut Sci* . 5(1):19-23
- Asgarpanah, J et Ramezanloo, F. 2012 .** Chemistry, pharmacology and medicinal properties of *Peganum harmala* L. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology* Vol, 6(22), pp. 1573-1580, 15 June, 2012 Available online at
- Ashraf, M. et Harris P.J.C.(2004).** Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sci.*, 166: 3-16.
- Ashref, M. 2004:** Some Important Physiological Selection Criteria For Salt Tolerance In Plant. *Flora*. 199: 361-376.
- Aslam, N., Wani, A.A., Nawchoo, I.A., et Bhat, M.A., (2014).** Distribution and medicinal importance of *Peganum harmala*-a. review. *Int. J. Adv. Res.* 2, 751-755.
- Asloun, H.1990.** Elaboration d'un systeme de production maraichere (tomate, *lycopersicon esculentum* L.) en culture hors sol pour les regions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat: Université de Nice Sophia-Antipolis. 24- 32pp
- Astulla, A., Zaima, K., Matsuno, Y., Hirasawa, Y., Ekasari, W., Widyawaruyanti, A., ZAINI N, C. and Morita, H. (2008).** Alkaloids from the seeds of *Peganum harmala* showing antiplasmodial and vasorelaxant activities. *J Nat Med.* 62:470–472
- Aubert. G.j., Boulaine. J., Duchaufour. P., (1967).** Classification des sols. 87 p. miméo, Lab. Géol. Pédol., Éc. Nat. Sup. Agron. Grignon.
- Baba Aissa, F. 1999.** Encyclopédie des plantes utilisées Flore d'Algérie et du Maghreb. Edas, P368. IRD, 2008. Les dossiers thématiques de l'Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles. 21p.
- Bashour, I. I. and Sayegh, A. H. (2007).** methods of analysis for soils of arid and semi-arid regions. Ed, FAO, Rome, 119 p
- Baskin C.C et Baskin J.M. (1998).** Seeds: Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego, CA.
- Basu, S, Ramegowda, V, Kumar, A, & Pereira, A. (2016).** Plant adaptation to drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 7, 123. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01237>

Références bibliographiques

Baytop, T. (1999). Herbal treatments in Turkey, (Past and Present) 2. Baski, [Türkiye’de Bitkilerle Tedavi (Gecmiste ve Bugün)] Nobel Tıp Kitapevleri Ltd. Sti., Istanbul Turkey, (In Turkish), 35-90pp.

Bekhouche, H. (1992). Etude de la germination de quelques lignées de pois chiche soumis à la salinité, croissance, anatomie des racines. Thèse D.E.S. Biol. Université d’Oran. 68 P.

Belkhodja, M et Bidai, Y. (2004). Réponse de la germination des graines d’*Atriplex halimus* L. sous stress salin. Revue Sécheresse, N°4, vol.15 p 331-335.

Belkhodja, M., and Benkablia, M. (2000): Proline response of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress. Egypt. J. of Agric. Res., 78, (1), p. 185-195.

Bellakhdar, J. (1997). La pharmacopée marocaine traditionnelle. Médecine arabe ancienne et savoirs populaires. Ibis Press, Saint Etienne, 764

Ben Hebireche N., (2011). effet du stress salin sur l’accumulation de la chlorophylle chez le blé dur, p9. (Mémoire étude de l’effet du stress salin sur la germination de blé dur (*triticum durum*)).

Ben Miled D., Bousaid M., Adbikeffi A. (1986). Colloque sur les végétaux en milieu aride. Djerba 8- 10 sept. 1986. Fac. Sci. de Tunis ept. ACCTT 586.

Ben Naceur, M., Abdellaoui, R., Cheikh-M’Hamed, H., Hedhly, K., et Selmi, M., (2005): Critères précoces de tolérance au stress salin chez quelques génotypes de tomate. Annales de l’INRGREF, 6, pp. 55-70.

Ben Naceur, M., Ben Salem, M., Rouissi, M., El Berji, Z., et Rahmoune, C. (2002) : Influence du manque d’eau sur le comportement écophysologique de quatre variétés de blé dur. Annales de l’INRGEF. Vol. 5, pp. 133-152.

Ben Naceur, M., Rahmoune C., Sdri, H., Meddahi, M. et Selmi, M. (2001). Effet de stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. Sécheresse. 12 :167-174

Benmeddour, T. (2010). Etude du pouvoir allélopathique de l’Harmel (*Peganum harmala* L.), le laurier rose (*Nerium oleander* L.) et l’ailante (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swing.) sur la germination de quelques mauvaises herbes des céréales. These. Magister. UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF. 100 pages

Berdai, M., Labib, S and Harandou , M .2014. Case Report *Peganum harmala* L. Intoxication in a Pregnant Woman. Case Reports in Emergency Médecine. Tees dans la région de m’sila. Sciences et Technologie 42, 21-30pp

Références bibliographiques

- Binzel, M.L., Reuveni, M. 1994.** Cellular Mechanisms Of Salt Tolerance In Plant Cells. Hort. Rev, 16: 33-69.
- Bitchagno, GTM., El bouhssini, M., Mahdi, I., Ward, JL and sobeh, M. (2022),** Toward the Allelopathy of *Peganum* sp. and Related Chemical Constituents in Agriculture. Front. Plant Sci. 12:796103. doi: 10.3389/fpls.2021.796103
- Bliss R.D., Platt-Aloria K.A. et Thomson W.W. (1986)** Osmoticsensitivity in relation to sensitivity in germination barley seeds. Plant Cell and Env. 9,721-725.
- Bock, B. (2009).** Base de données nomenclaturale de la flore de France BDNFF v 4,02 in *peganumharmala* L. France.
(<http://www.telabotanica.org/elflore/BDNFF/4,02/nm/30849/synthese.pdf>)
- Bohnert, H.J., et Jensen, R.G. (1996):** Metabolic engineer ing for increased salt tolerance the next step. Aust. J. Plant Physiol. 23 (5): 661-667. Doi:10.1071/PP9960661.
- Bois, G. (2005).** Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhisés en milieu salin et
- Boukachabia, E. (1993).** Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation (*Triticum durum* Dest). Mémoire de Magister en production et physio Vég. Annaba, 108p.
- Bouziane, N. 2012.** Toxicité comparée des extraits d'*Euphorbiaguyoniana* and Reut. (*Euphorbiaceae*) et de *Peganum harmala* L. (*Zygophyllaceae*) récoltés au Sahara Septentrional Est algérien sur les larves et les adultes de *Schistocercagregaria* (Forskål,1775), 82pThèse De Magister: Université kasdi Merbah- Ouargla.46p
- Bruneton, J. 1999.** Pharmacognosie phytochimie plantes médicinales. 3 éd. Paris: TEC & DOC.. 973-783pp.
- Calvet, R. (2003).** Le sol propriétés physicochimiques /T2.Ed. France agricole, 511p.
- Chaieb, M. et Zaafouri, M. S. (2000).** L'élevage extensif, facteur écologique primordial de la transformation physionomique du cortège floristique en milieu steppique tunisien.
- Chaudhary, R.C ; Nanda, J.S et Tran, D.V. (2003).** Guide d'identification des contraintes de terrain à la production de riz. ED. ©FAO. ROME, 63p.
- Chaussat, R et Ledeunef, Y. (1975).** la germination des semences. Ed.Bordas. Paris. BRUXELLES MONTREAL.
- Chehma, A. (2006).** Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional algérien. Ed. eco-sys. Université Kasdi Merbah, Ouargla.141p.
- Chopra, C., Abrol,B et Handa, K.1960 .** Les plantes médicinales des régions arides. Recherche sur les zones arides. Ed UNESCO, Rome ,97pp.

Références bibliographiques

Choukr-Allah, R. (1997). The potential of salt –tolerant plants for utilisation of saline water. Ed. CIHEAM- Options Méditerranéennes, Sér. A /n031. pp 313-325.

Chretien D. (1992). La résistance au sel chez le jojoba (*Simmondsia chinensis* LS), croissance et modification du contenu lipoprotéique de cals cultivés en présence d'une teneur élevé en NaCl. Thèse doct. Univ. Paris VI, 144 P.

Chrominski, A., Weber, D.J., Smith, B.N. and Khan, A.M. (1986). NaCl Salinity-Dependent conservation of ACC to ethylene in the halophyte, *Allenrolfea occidentalis*. Ed. Spriger-Verlag. Naturwissenschaften 73, S.274.

CIHEAM -Options Méditerranéennes, Sér. A / n°39, pp 217-222. 14 réf. 2000 - Rupture... nouvelle image de l'élevage sur parcours.

Dahel,I et Messaoudi, R.2019 .Activités biologiques et toxique des extraits d'une plante médicinale *Peganumharmala*. Mémoire de master : Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A, 52pp

Debez .A; Chaibi W. et Bouzid S. (2001). Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus* L. Agriculture. Vol. 10, n°2, pp. 8-135.

Derakhshanfar, A., Oloumi, Mirzaie, M. (2009). Study on the effect of *Peganum harmala* L extrat on experimental skin wound healing in rat: pathological and biomechanical findings. Comparative Clinical Pathology 19(2):169-172

Diallo, B., Samba, S.A.N., Sane, D et Diop, T. (2013). Effet du chlorure de sodium sur la germination de graines de *Ricinus communis* L. Int. J. Biol. Chem. Sci. 7(4): 1534-1544.

Dutuit P., Pourrat Y., Dutuit J M. (1994). La notion de stress de la cellule et effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales, *Tropicultura*, Vol.23. P220-225. Développement. Ed. MASSON, Paris.96 P

El-Mekkaoui, M. (1990). Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le et de la salinité. Rev. FAC.Sc. Tunis, 2 : 195-205.ETIENNE : 188 235.Francophones/Agricultures, Vol. 10, No. 2: 135- 138.

FAO. (2002). Eau et agriculture : produire plus avec moins d'eau, Ed. FAO, Rome, 22p

FAO. (2003). Déverrouiller le potentiel de l'eau en agriculture. Ed. FAO, Rome. 63p. ISBN 92-5-204911-8.

Farid, M.F. A. (1989). Water and minerals problems of the dromedary camel (an overview). CIHEAM - Options Méditerranéennes – Série A- Séminaires – n° 2 - 1989: 111-124

Références bibliographiques

- Ferhat, H .2017.** Caractérisation physique et chimique des sols sous grenadier: cas d'une steppe dégradée mise en défens mémoire de master Université Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou 43pp
- 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, 552-55
- Ghezlaoui, B-E., Benabadi, N., Benmansour, D., et Merzouk, A. (2011).** Analyse des peuplements végétaux halophytes dans Le Chott El-Gharbi (Oranie- Algérie). *Acta Botanica Malacitana* 36. 113-124
- Ghrib C.D., Kchaou R., Gharbi F., Rejeb S., Khoudja L., Nejib Rejeb M.(2011).** *Euro. Journals Publishing, Inc .* 50 208.
- Girard,P., Prost,J et Bassereau, P.2005.** Passive or active fluctuations in membranes containing proteins *phys.* 60-64pp
- Goel, N, Singh, N. and Saini , R. (2009).** Efficient in vitro multiplication of Syrian Rue (*Peganum harmala* L.) using 6-benzylaminopurine pre-conditioned seedling explants. *Nature and Science*, 2009;7(7), ISSN 1545-0740,
- Greenway, H. and Munns, R. (1980):** Mechanism of salt tolerance in non- halophytes. *Annual Review of Plant Physiology.* Vol. 3, pp. 149-190
- Grime J P. (1979).** Plant strategies and vegetation processes. New York: John Wiley.
- Haballah, et Timilali, S.2018.**Rôle des *Pseudomonas* rhézosphériques dans l'allègement de l'effet du stress salin sur la fève mémoire de master Université Ahmed Draïa Adrar.48pp
- Halitim, A.1988.** Sols des régions arides d'Algérie. Office de publications universitaires, Alger: 39- 40pp
- Hamdy, A.1999.** Saline irrigation and management for a sustainable use. In: *Advanced short course on saline irrigation proceeding*, Agadir.152- 227pp
- Hameed, M., Ashraf, M., Naz, N., Al-Qurainy, F. 2010-**Anatomical adaptations of *Cynodon dactylon* (L.) PERS., from the salt range PAKISTAN, to salinity stress. I. Root and stem anatomy. *Pak. J. Bot.*, 42 (1): 279-289.
- Hammiche, R., Merad, M et Azzouz. 2013.** Plantes toxiques à usage médicinal du
- Hamza M. (1980).** Réponse des végétaux à la salinité. *Physiol., Vég.* 18 (1): 69-81.
- Haouala, F., Ferjani H., Ben El Hadj, S. 2007 -** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2007 11 (3), 235-244.

Références bibliographiques

Haouala, F., Ferjani, H. et Ben El Hadj, S. (2007): Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* Vol. 11, n°3, pp. 235-244.

Harnadez, S. (1997). Mécanisme physiologique et métaboliques de la résistance à la contrainte saline chez les végétaux supérieurs. Bibliographie, U.N.V. Rennes I, UFRSUEUMR CNRS. P20-653.

Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., and Bohnert, H.J. (2000): Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Plant Mol. Biol.* Vol. 54: 463- 499

Henry, J., Cárcamo., Richard, M., Bustos., Felipe, E., Fernández., Elizabeth, I., Tremblin, G., Coudret, A. 1986: Salinité, Transpiration Et Echanges De CO_2 Chez *Halopeplis Amplexicaulis* (Vahl.) Ung. *Oecol. Plant.* 7 (21) : 417-431.

Hernandez, J.A., A. Jimenez, P., Mullineaux And F., Sevilla. 2000- Tolerance Of Pea (*Pisum Sativum* L.) To Long-Term Salt Stress Is Associated With Induction Of Antioxidant Defenses. *Plant Cell Environ.* 23: 853-862.

Hopkins W. G. (2003). *Physiologie végétale*. 2ème édition. De Boeck, Bruxelles. P 61-476. in NaCl stress environments. *Plant Physiology*. 109 (3): 735- 742. Ingénieur, Université de Ouargla, 67 P.

Hopkins W. G. (2003). *Physiologie végétale*. 2ème édition. De Boeck, Bruxelles. P 61-476. in NaCl stress environments. *Plant Physiology*. 109 (3): 735- 742. Ingénieur, Université de Ouargla, 67 P.

IDRISSI Hassani, L. M et HERMAS, J. (2008). Effets de l'alimentation en *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae) sur le tube digestif du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forsk. (Orthoptera, Acrididae). *Zool. baetica*, vol. 19, 71-84,

Ismail, A. 1990. Germination ecophysiology in population of *Zygophyllum qatarense* Hadidi from contrasting habitats. *J. Arid. Environ*, 18: 185-194.

James, D.M., Sylesh, K.V., John, T.H. (2007). Plant natural products: Back to the future or into extinction? *Phytochemistry* 68, 2015-2022.

Jean P; Catmrine T et Giues L. (1998). *Biologie des plantes cultivées*. Ed. L'Arpers, Paris, 150p.

Références bibliographiques

- Jin H. and Li-zhe, A. (2009).** Isolation and characterization of microsatellite loci in *Peganum harmala* L. (*Peganaceae*), an important resist-drought and medicinal plant. *Conserv Genet* 10, 1899–1901. <https://doi.org/10.1007/s10592-009-9849-5>
- Jones H G., Flowers T J., Jnoes M B. (1989).** *Plants under stress*. Cambridge,
- Kadri,Aet Midou,N. 2015 .**effet du stress salin sur quelques paramètres biochimiques de la luzerne cultivée (*Medicagosativa* L.), thème de master, université KasdiMerbah Ouargla, p60
- Kahil, Met Rouabah, I.2019.** Etude phytochimique et activités biologiques des huiles fixe et essentielle de la plante *Peganum harmala*. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A
- Kao, R. K., Jaiswal, W., Kolch., Landreth, G.E. 2001-** Identification Of The Mechanisms Regulating The Differential Activation Of The Mapk Cascade By Epidermal Growth Factor And Nerve Growth Factor In Pc12 Cells. *J. Biol. Chem*, 276: 18169–18177.
- KARTAL, M., ALTUN, M. L. and KURUCU, S. (2003).** HPLC method for the analysis of harmol, harmalol, harmine and harmaline in the seeds of *Peganum harmala* L. 31(2):263-9. doi: 10.1016/s0731-7085(02)00568-x
- Khashimov, Kh. N., Telezhenetskaya, M. V, Sharakhimov, N. N, and Yunusov, S. Yu. (1971).** The dynamics of the accumulation of alkaloids in *Peganum harmala*. *Khimiya Prirodnikh Soedinenii*, No. 3, p. 382.
- Kotuby-Amacher, J., Koenig, R. et Kitchen, B. (1997).** La salinité et la tolérance des plantes. USDA. 15p
- Kubitzki, K. 2011.** The families and genera of vascular plants. Vol. X(5). Germany: DIO. : 417-431pp.
- Kurban, H., Saneoka, H., Nehira, K., Adilla, R., Premachandra, G.S., and Fujita, K., 1999 –** Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant *Alhagipseudoalghi*. *SoilSci. Plant Nutr*; 45: p 851–862.
- Laclerc J C. (1999).** *Ecophysiologie végétale*. Publication de l'université SAINT
- Lafon, J.P., Thraud-Prayer, C. et Levy, G. (1996).** *Biochimie structurale en biologie des plantes cultivées*. Tome 1 : Organisation physiologie de la nutrition. 2eme ed. Ed.Tec et Doc, Lavoisier.102p
- Lahlou, .M, Badraoui, .M et Souidi, .B. (2000).** Modélisation de l'évolution de la salinité et de l'alcalinité dans les sols irrigués. Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux', Rabat, 2-3 Novembre 2000, pp135-151

Références bibliographiques

- Lamzeri, T. (2007).** Réponses écophysiologicals de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. Gomphocephala*, et *S. Molle*) soumises à un stress salin. Mémoire de magister en Ecologie et Environnement. Option : Ecologie Végétale. Université Mentouri Constantine 140 p.
- Larcher, W. (2003).** Physiological plant ecology (4th ed.). Springer.
- Larher, F., Huqis, M., Gernat-Sauuge, D. (1987).** Les colloques d'INRA.
- Lawrence, G.H.M. (1951).** The taxonomy of Vascular Plants. The Macmillan Company, New York.
- Levigneron, A., Lopez, F., Vansuyt, G., Berthomieu, P., Fourcroy, P., Casse Delbart, F. 1995-** Les Plantes Face Au Stress Salin. Cahiers Agricultures.4 (4): 263 273.
- Levit, J. (1980):** Responses of Plants to Environmental Stresses (Vol. II). Academic Press: New York
- Li, S., Cheng, X. and WANG, C. (2017).** A review on traditional uses, phytochemistry, pharmacology, pharmacokinetics and toxicology of the genus *Peganum*. Journal of Ethno pharmacology, 203 , pp. 127-162.
- Li, W-Q., Xiao-jing, I., Khan, A. M. and Gul, B. (2008b).** relationship between soil characteristics and halophytic vegetation in coastal region of north china .Ed. Pak. J. Bot., 40(3): 1081-1090
- Maalem, S., and Rahmoune, C. (2009) :** Toxicity of the salt and pericarp inhibition on the germination of some *Atriplex* species. American-Eurasian Journal of Toxicologic Sciences. Vol. 1, n°2, pp. 43-49

Références bibliographiques

Maas, E.V. 1996 -Plant Response To Soil Salinity. In: 4th National Conference And Workshop On The Productive Use And Rehabilitation Of Saline Land. Promaco Conventions Pty Ltd, 25-30 March 1996, Albany Western Australia

Mahmoudian, M., JALILPOUR, H. and SALEHIAN, P. (2002). Toxicity of *Peganum harmala*: Review and a Case Report. Ed. Copyright © 2002 by Razi Institute for Drug Research (RIDR). (IRANIAN JOURNAL OF PHARMACOLOGY & THERAPEUTICS) IJPT | Autumn 2002 | vol. 1 | no. 1 | 1-4

Maillard, J. (2001) : Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34p.

Maire, R et Jahandiez, E. 1932. Catalogue des plantes du Maroc (Spermatophytes et Ptéridophytes) ,453pp

Mazliak P.(1982) . Croissance et développement. Physiologie végétale II. Hermann ed., Paris, Collection Méthodes, 465p.

méridionales. Tome I, C.N.R.S.Paris.

Meyer S; Reeb C et Bosdeveix R. (2004). Botanique, biologie et physiologie végétale .Ed. Moline, Paris, 461p.

Moloudizargari, M,Mikaili, P, .Aghajanshakeri , S, Hossein, Aand Shayegh , J. 2013. Pharmacological and therapeutic effects of *Peganum harmala* and its main alkaloids. Pharmacogn. Rev 7(14), 199-212

Morsli, B. (2007): Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols : cas des zones côtières d'Alger Est.Actes des JSIRAUF

Munns, R. , Termaat A., 1986. Whole Plant Response To Salinity. Australian Journal Of Plant Physiology, 13: 143-160.

Munns, R. 2002- Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell and Environment, Vol. 25:239-250.

Niu, X., Rsessan R.A., Hasegawa P.Mand Pardo J.M. 1995. Ion homeostasis in NaCl stress environments. Plant Physiology, 109. 3: 735- 742pp.

Okçu G., Kaya M.D., Atak M. (2005). Turk J. Agric. For. 29 237.

Références bibliographiques

Oudina, A et Selfaoui, H.2016. Effet de la salinité combinée à l'acide salicylique sur les paramètres biochimiques et de croissance de l'*Atriplexhalimus*L. Au stade juvénile, thème de master, université kasdimerbah-ourgla, 60pp.

Ozenda ,P.(2004). Flore et végétation de Sahara. 3 éme édition CNRS , Paris 660 p.

Ozenda P. 1991: Flore et végétation du Sahara 3éme édition, augmentée. Ed CNRS, Paris, 662 p . Pincemail J , Bonjean K, Cayeux K. and Defraigne J.O., 2002. Physiological action of antioxidantdefences. Nutrition Clinique et Métabolisme. 16, 233-239pp

Parida A., and Das A.B. (2005):Salt tolerance and salinity effect on plants: review. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol.60, pp. 324-349.

Parida, A., Das, A.B., and Das, P. (2002): NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguieraarviflora*, in hydroponic cultures. J. Plant Biol. 45, 28–36.

Pearen, JR., Pahl, MD., Wolynetz, MS., et Hermesh, R. (1997). Association of salt tolerance at seedling emergence with adult plant performance in slender wheat grass. Canadian Journal of Plant Science 77: 81–89.

Pessarakli, M. and Zhou, M. (1990) :Effect of salt stress on nitrogen fixation by different cultivars of green beans. Journal of plant nutrition. Vol. 13, no 5, pp. 611- 629.

Phocaidés, A. (2008). Manuel des techniques d'irrigation sous pression. 2eme ed. Ed. FAO. Rome, 308p

Poljakoff-Mayber, A. 1975: Morphological And Anatomical Changens As A Response To Salinity Stress, In Plants In Saline Environments. Ecological Studies. Analysis And Synthesis (Poljakoff-Mayber, A. Et Gale, J., Eds). Vol. 15: 97-L 17. Springer, Berlin

Poljakoff-Mayber, A. 1975: Morphological And Anatomical Changens As A Response To Salinity Stress, In Plants In Saline Environments. Ecological Studies. Analysis And Synthesis (Poljakoff-Mayber, A. Et Gale, J., Eds). Vol. 15: 97-L 17. Springer, Berlin

Poorter, H., & Nagel, O. (2000). The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. Australian Journal of Plant Physiology, 27(6), 595–607. <https://doi.org/10.1071/PP99173>

pourtour méditerranéen, Springer

Quezel, P., Santa, S. (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régionsdésertiques méridionales. Tome I, C.N.R.S.Paris.

Références bibliographiques

- Quezel, P., Santa, S. (1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques
- Rahmoune, C., Semadi, A., Auad, H. et Tahar, A. (1997):** Air quality and lichenic distribution in the northeast Algeria. Proc of Second International Scientific Conference. Science, Development and Environment, Cairo, Egypt, pp. 333-344.
- Rahmoune, C., Seridi, R., Paul, R. et Drez, P. (2000) :** Influence on Zn concentration in solution Applied to leaves and Roots on the absorption and translocation of Cd by leave. Agricultural Sciences. Vol. 27, n°1, pp. 72-77.
- Rejili, M., Vadel, M. A. et Neffat, P. M. (2006).** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. Revue des Régions Arides, 17.1 : 65-78.
- REZZAGUI, A. (2012).** Evaluation de l'effet toxique de l'extrait brut et de l'activité antioxydante des différents extraits des graines de *Peganum harmala* L, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sétif, 78p
- Rhoades, J.D., Kandiah, A and Mashali, A.M. (1992).** The use of saline waters for crop production - FAO irrigation and drainage paper 48. Ed. © FAO.M-56. Rome. 115p. ISBN 92-5-103237-8
- Roché, C. 1991 .**African rue (*Peganumharmala* L.). In Weeds, A Pacific North westExtension Publication, Washington State UniversityCooperative Extension, Oregon State University Extension Service, University of Idaho Cooperative Extension System, USDA, PNW369p.
- Rodríguez, H., Fraga, R. (1999).** Phosphate Solubilizing Bacteria And Their Role In Plant Growth Promotion. Biotechnol Adv. 17:319-339
- Roland,D. (2005).**Les plantes supérieures : divines et / ou diaboliques, Lesdébis scientifiques du 21eme siècle, Conférences et débats.
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1992).** Plant physiology (4th ed.). Wadsworth Publishing.
- Sankary, N. (1986).** Les formations et les successions vegetales dans les milieux sableux arides et leur importance dans la prevision et la lutte contre la desertification. Actes du Séminaire organisé dans le cadre du Projet-pilote de lutte contre la désertification dans le sud-tunisien. Djerba (Tunisie), 24-29 :115-132
- Sannada, Y., Ueda, H., Kuribayashi, K., Andoh, T., Hayashi, F., Tamai, N., Wada, K. 1995:** Novel Light-Dark Change Of Proline Levels In Halophyte (*Mesembryanthemum Crystallinum* L.) And Glycophytes (*Hordeum Vulagre* L. And *Triticum Aestivum* L.) Leaves Ad Roots Under Salt Stress. Plant Cell Physiol. 36 (6): 965- 970.

Références bibliographiques

Servan Servant JL. (1975). Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphe-EDINRA, SES, MONTPLLER.

Sheng, M., Tang, M., Chanh, H., Yang, B., Zhang, F et Huang, Y. (2008). Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. *Mycorrhiza* 18, 287–296.

Siddiqui, S., Khan, O.Y., Faizi, S. and Siddiqui, B. S. (1988). Studies in the chemical constituents of the seeds of *Peganum harmala*: Isolation and structure elucidation of two β -carbolinelactams, harmalanine and harmalacidine. *Heterocycles*, 27 : 1401-1410.

Slama A; Ben Salem M et Zid. (2004). La proline est-elle un osmoregulateur chez le ble dur ? Communication aux 15es Journees biologiques, 18-21 mars 2004, Forum des sciences biologiques, Association tunisienne des sciences biologiques.

soclique. Thèse de doctorat 187p.

Soltner D. (1988). phytotechnie spéciale, la grande production végétale 16 ème ED.Pp417.

Szabolcs, I.1994. Soils and salinization. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker, New York. 3-11pp

Tahrouch, S., Rapior S., Mondolot-Cosson L., Idrissi,H ., Bessière J. M. et Andary ,C. 2002. *Peganum harmala*: source combinée d'arômes et de colorants. *Rev. Biol .Biotech* (2), 33-37pp

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). Plant physiology and development (6th ed.). Sinauer Associates.

Tester, M ., and Davenport, R.J. (2003) :Na⁺ transport and Na⁺ tolerance in higher plants. *Ann. Bot. (Lond.)*, 91 : 503 –527. doi:10.1093/aob/mcg058. PMID:12646496.

Thomson W. W. (1975). The structure and function of salt glands. In:Plants in Saline Environments. Ecological Studies 15. Plojakoff–Mayber, A.andJ. Gale (eds.): 118-46. Springer Verlag, Berlin.

Tobe K, Li X, et al. (2004). Effects of different salts on seed germination and seedling growth of *Haloxylonammmodendron* (Chenopodiaceae). *Seed Sci. Res.*, 14: 345-353

Tremblin G. (2000). Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis*: plante pionnière des sebkhas de l'ouest algérien. *Sécheresse*. P 109-116.

Wang,Y., Nil, N., 2000: Changes In Chlorophyll, Ribulosebiphosphate Carboxylase-Oxygenase, Glycine Betaine Content, Photosynthesis And Transpiration In *Amaranthus Tricolor* Leaves During Salt Stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 75, 623-627.

yensen, N. P. (2008). Halophyte uses for the twenty-first century, in. Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants. Ed. Springer. the Netherlands. KHAN. A.M and DARRELL. J. WEBER(edits).pp367-396.

Zid ,E. (1982). Relation hydriques dans la feuille de Citrus aurantium : effets de l'âge et de la salinité. Rev. FAC. Sc. Tunis, 2, pp 195-205.

Les références arabes :

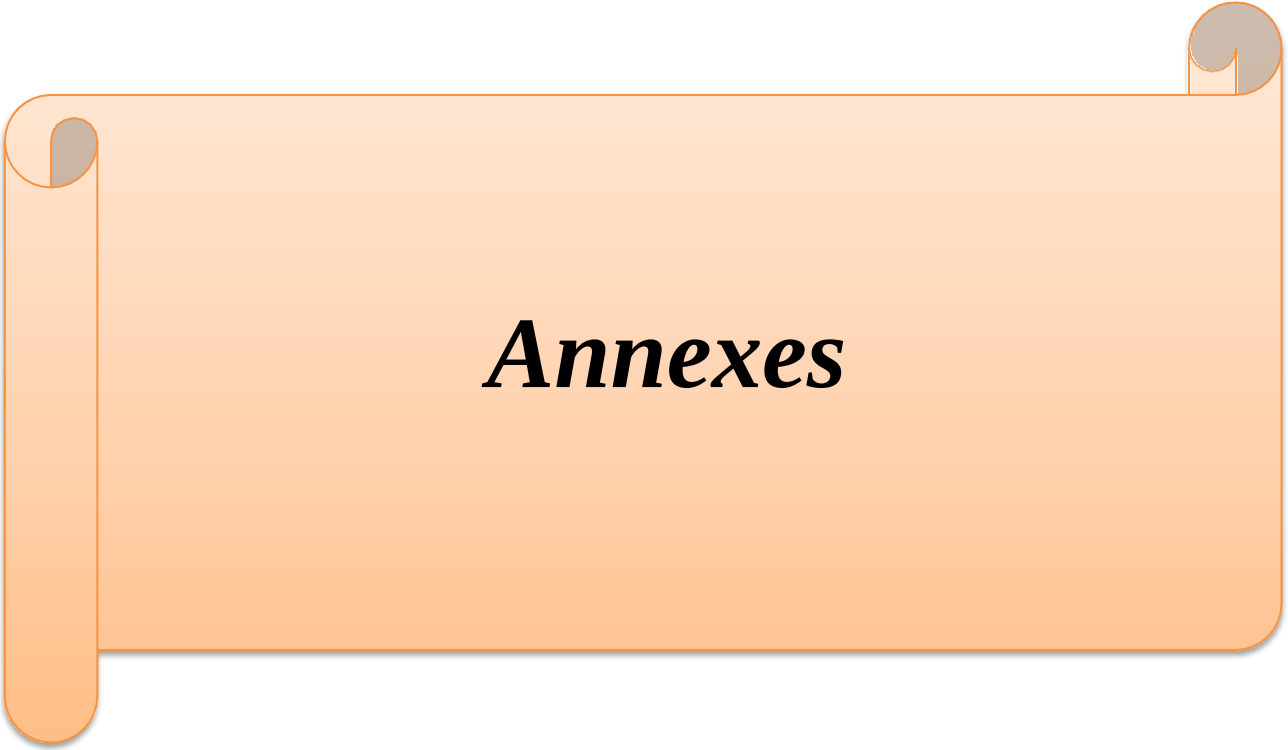
- حلبي عبد القادر، 1997 ، النباتات الطبية في الجزائر
- بطيحي سارة، 2014 ، السمية الحادة والشبه الحادة لقلويدات بذور نبتة الحرمل. مذكرة ماجستير. جامعة فرحات عباس. سطيف. 58 صفحة
- صالح حسن جازع ، 2012 ، التأثير التثبيطي لمستخلص المائي والكحولي لأوراق نباتي الحرمل كلية العلوم، جامعة ميسان . ، aureus Staphylococcus وعين البزون في البكتيريا Peganum
- رامز مهدي صالح الأسدي، 2008 ، دراسة تأثير مستخلصات نباتي الأراك و الحرمل في تثبيط نمو الفطر. 40-32 : مخبريا ، مجلة البصرة لأبحاث نخل التمر، مجلد 7 ، العدد 1 Mauginiella scaettae
- فوزية أحمد الشنوي، 2009 ، تأثير مزيج من مستخلص بذور الحرمل وأوراق نبات الشيح ضد الأميافي الزجاج، المجلة العراقية. Entamoeba histolytica الحالة لنسج
- عبد الجبار عبد الحميد الخزبي، كلبوي عبد المجيد، أمير خضير عباس، سهيلة غفوري، مؤيد عبد الصاحب تويج، 2013 ، التأثير التثبيطي للمستخلص المائي لبذور الحرمل في نمو بعض أنواع البكتيريا المرضية، مجلة العلوم الزراعية العراقية، كلية الزراعة، جامعة بغداد

Sites web

<https://aliwaa.com.lb/%D8%B5%D8%AD%D8%A9/%D9%83%D9%84-%D9%85%D8%B4%D9%83%D9%84%D8%A9-%D8%B5%D8%AD%D9%8A%D8%A9-%D9%84%D9%87%D8%A7-%D8%AD%D9%84%D9%88%D9%84-%D9%85%D8%B9-%D9%86%D8%A8%D8%A7%D8%AA-%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%B1%D9%85%D9%84/> (1)

(d'après piganit, 1982, <http://books.google.com/books/edagricole/flora-Italia.pdf>) (2)

(d'après piganit, 1982, <http://books.google.com/books/edagricole/flora-Italia.pdf>) (3)

A large, horizontal orange scroll with a gradient from light to dark orange. It has a vertical strip on the left side that folds over the top and bottom edges. The word "Annexes" is centered on the scroll in a bold, black, italicized serif font.

Annexes

Annexe I: Les matériels utilisés

- **Appareillages**

- Etuve
- Microscope (Optika)
- Agitateur
- Balance de précision électronique sensible
- Balance électronique
- Pied à coulisse



Etuve



Microscope (Optika)



Agitateur



Balance de précision électronique sensible



Balance électronique



Pied à coulisse

- **Verreries**

- Bécher gradué (1000 ml)
- Éprouvette graduée
- Trois béchers de différentes tailles (150 ml, 100 ml, 50 ml)
- Erlenmeyer
- Verre de montre
- Pince
- Mortier et pilon en verre
- Lame et lamelle de microscope (plaque en verre)
- Pincette spatule double cuillère



Les Verreries

Annexe II :

Les solvants utilisés

- Acide acétique.
- L'eau de javel
- Vert de méthyle
- Rouge Congo
- alcool



Le dispositif expérimental de *Peganum harmala* L.

Les paramètres morphologiques (les feuilles, les tiges et les racines) sous différentes concentrations salines.



Les feuilles, les tiges et les racines de *Pegonium harmala* L.

Annexes

Calcul de longueur des racines en (cm)

longueur des racines	1	2	3
C0	5,823	5,411	5,164
C1	4,394	3,804	3,718
C2	2,418	2,224	1,55
C3	2,064	1,54	1,47

Calcul de longueur des tiges en (cm)

longueur des tiges	1	2	3
C0	2,958	2,853	2,666
C1	2,511	2,654	1,914
C2	1,846	1,79	1,454
C3	0,924	0,861	1,828

Calcul des nombres des feuilles

	Nombres des feuilles
C0	17
C1	16
C2	14
C3	10

Annexes

Calcul de la masse fraîche et la masse sèche en (g)

	La masse fraîche	La masse sèche
C0	0,23	0,011
C1	0,17	0,010
C2	0,16	0,009
C3	0,11	0,008

Taux de germination moyenne (%)

Concentration g/l	moyenne (%)
C0	92
C1	86,70
C2	77,2
C3	73

La vitesse de germination VG (G/J)

Concentration g/l	VG (G/J)
C0	51,09
C1	48,20
C2	42,47
C3	39,46

La longueur des racines LR (cm)

Concentration g/l	LR (cm)
C0	5,47
C1	3,97
C2	2,06
C3	1,69

Annexes

La longueur des tiges LT (cm)

Concentration g/l	LT (cm)
C0	2,82
C1	2,35
C2	1,69
C3	0,87

Descriptions statistiques

Ecart-type	Moyenne	Maximum	Minimum	Obs. sans données manquantes	Obs. avec données manquantes	Observations	Variable
4.856	41.125	47.200	31.400	16	0	16	TG
0.600	2.103	2.950	0.860	16	0	16	LT
1.594	3.296	5.820	1.470	16	0	16	LR
0.966	3.500	5.000	2.000	16	0	16	NF
0.011	0.042	0.057	0.027	16	0	16	PF
0.000	0.002	0.003	0.002	16	0	16	PS
1.181	11.328	12.770	9.870	16	0	16	VG

Annexes

Matrice de corrélation

VG	PS	PF	NF	LR	LT	TG	var-Ha	salinite-C3	salinite-C2	salinite-C1	salinite-C0	
0.729	0.750	0.841	0.463	0.810	0.715	0.599	0.000	-0.333	-0.333	-0.333	1	salinite-C0
0.365	0.322	0.027	0.309	0.252	0.250	0.292		-0.333	-0.333	1	-0.333	salinite-C1
-0.357	-0.322	-0.081	0.000	-0.461	-0.403	-0.310		-0.333	1	-0.333	-0.333	salinite-C2
-0.736	-0.750	-0.787	-0.772	-0.601	-0.562	-0.580		1	-0.333	-0.333	-0.333	salinite-C3
							1				0.000	var-Ha
0.810	0.809	0.745	0.662	0.761	0.588	1		-0.580	-0.310	0.292	0.599	TG
0.878	0.877	0.813	0.636	0.916	1	0.588		-0.562	-0.403	0.250	0.715	LT
0.967	0.967	0.899	0.688	1	0.916	0.761		-0.601	-0.461	0.252	0.810	LR
0.763	0.769	0.753	1	0.688	0.636	0.662		-0.772	0.000	0.309	0.463	NF
0.923	0.942	1	0.753	0.899	0.813	0.745		-0.787	-0.081	0.027	0.841	PF
0.999	1	0.942	0.769	0.967	0.877	0.809		-0.750	-0.322	0.322	0.750	PS
1	0.999	0.923	0.763	0.967	0.878	0.810		-0.736	-0.357	0.365	0.729	VG