

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ahmed zabana Relizane
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Ecologie et environnement



جامعة أحمد زبانة - غليزان
Ahmed Zabana Relizane University

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

Ecologie

Intitulé

Effet de la salinité sur la germination des graines de *Moringa oleifera* Lam.

Présenté par :

Mme : BOUDCHACHA Chaimaa

Mme : MEHAL Hamida

Devant les membres de jury :

Présidente : Mme HARMOUCHE A. Maître assistant (A) (U. Relizane)

Encadrante : Mme HAMAD H. Maître de conférence (B) (U. Relizane)

Examinatrice : Mme BELKHDIM L. Maître de conférence (B) (U. Relizane)

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier **Allah**, le Tout-Puissant et Miséricordieux, qui nous a donné la force, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous exprimons ensuite notre profonde gratitude à **Mme. HAMAD H.**, notre directrice de mémoire, pour sa disponibilité, sa patience, son encadrement bienveillant et la qualité de ses conseils tout au long de ce travail.

Nos sincères remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et pour leurs remarques et suggestions enrichissantes.

Nous remercions particulièrement :

- **Mme BELKHDIM L.**, pour avoir accepté de présider le jury ;
- **Mme GHALAI M.**, pour avoir examiné ce travail avec attention et bienveillance.

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur précieuse aide lors de la réalisation de ce mémoire :

À tous et à toutes les ingénieurs (es) de laboratoires pédagogiques de l'université de Relizane, qui nous ont fourni les matériels nécessaires à la réussite de notre expérience.

À tous les ingénieurs et ingénieures des laboratoires pédagogiques de l'Université de Relizane, pour la mise à disposition du matériel nécessaire à la réussite de nos expérimentations ;

Pr. CHADLI R. et **Pr. MEZALI K.**, pour la confiance qu'ils nous ont accordée en nous accueillant au sein de leur laboratoire *Protection, valorisation des ressources marines littorales et systématique moléculaire*, à l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, où nous avons pu réaliser les observations microscopiques et prendre les photos des coupes anatomiques ;

M. TAHRAOUI L., pour nous avoir fourni les graines de *Moringa oleifera* Lam. utilisées dans le cadre de ce travail ;

Mme Houaria., ingénieure de laboratoire de biologie végétale à l'Université de Mostaganem, pour sa gentillesse, sa disponibilité, et pour nous avoir fourni le vert de méthyle.

Nous tenon également à exprimer notre gratitude envers tous (toutes) les enseignements (es) du département de l'écologie et de l'environnement pour leur savoir partager.

Nous tenons également à adresser notre profonde reconnaissance à l'ensemble des enseignants et enseignantes du département d'Écologie et d'Environnement pour la qualité de leur enseignement et leur générosité dans le partage de leur savoir.

Nos remerciements les plus affectueux vont à nos parents, pour leur soutien inconditionnel, leur patience et leurs encouragements tout au long de notre parcours.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce modeste travail.



Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance ; qu'ils trouvent ici ; l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études.

A toute ma famille

Et A toutes mes amies ;

A tous les gens qui me connaissent et que je connais en particulier.

Et à tous ceux qui aiment le bon travail et ne reculent pas devant les obstacles de la vie

Chaïmaa

2025



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À ceux qui m'ont tout donné sans rien attendre en retour,

À ceux qui m'ont soutenue et encouragée jour et nuit,

Mes chers parents,

À mon frère, ma sœur, et ma chère grand-mère,

À mon binôme **Chaïmaa**,

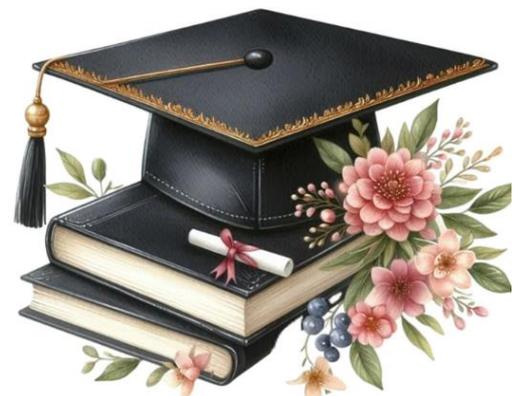
À mes ami(e)s,

Et à toutes les personnes qui me sont chères et proches.

Merci d'avoir toujours été là pour moi.

Hamida

2025



Résumé

La salinité des sols constitue un facteur environnemental majeur limitant la croissance et le développement des plantes, notamment en zones arides et semi-arides. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de différentes concentrations de chlorure de sodium (NaCl) 0, 25, 50 et 100 mM de NaCl sur la germination de *Moringa oleifera* Lam., en comparant l'effet des téguments des graines ; graines décortiquées (GD) et non décortiquées (GND).

Les résultats montrent que la salinité n'a pas significativement affecté le taux final de germination, qui reste supérieur à 95 % pour l'ensemble des doses et des graines (GD et GND). En revanche, un retard de germination remarqué chez les graines traitées à partir 50 mM de NaCl et une inhibition progressive de la croissance des racelles, des tiges et une réduction du nombre de feuilles avec l'augmentation des doses de NaCl appliquées. L'étude anatomique révèle des altérations structurelles importantes au niveau des racelles et des tiges à partir de la dose de 50 mM de NaCl chez les deux types des graines (GD et GND) avec une réduction du nombre et du diamètre des vaisseaux conducteurs particulièrement le xylème.

Ces résultats suggèrent une tolérance modérée du *Moringa oleifera* à la salinité au stade de germination, et confirment la sensibilité accrue des plantules issues des graines décortiquées.

Mots-clés : *Moringa oleifera* Lam., germination, salinité, graines décortiquées, graines non décortiquées, anatomie végétale

Abstract

Soil salinity is a major environmental factor limiting plant growth and development, particularly in arid and semi-arid zones. The aim of this study was to evaluate the effect of different concentrations of sodium chloride (NaCl) 0, 25, 50 and 100 mM NaCl on germination of *Moringa oleifera* Lam. by comparing the effect of seed coats; shelled (SS) and unshelled (US) seeds.

The results show that salinity did not significantly affect the final germination rate, which remained above 95% for all doses and seeds (SS and US). On the other hand, a delay in germination was observed in seeds treated with 50 mM NaCl and above, as well as a progressive inhibition of rootlet and stem growth and a reduction in the number of leaves with increasing doses of NaCl applied. The anatomical study revealed significant structural alterations in rootlets and tigers from 50 mM NaCl onwards in both seed types (SS and US), with a reduction in the number and diameter of conducting vessels, particularly in the xylem.

These results suggest a moderate tolerance of *Moringa oleifera* to salinity at the germination stage, and confirm the increased sensitivity of seedlings derived from dehulled seeds.

Keywords: *Moringa oleifera* Lam., germination, salinity, Shelled seeds, unshelled seeds, plant anatomy

الملخص

ملوحة التربة هي عامل بيئي رئيسي يحد من نمو النباتات وتطورها، خاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. الهدف من هذا الدراسة هو تقييم تأثير تركيزات مختلفة 0 و 25 و 50 و 50 و 100 ملي مولار من كلوريد الصوديوم (NaCl) على الإنبات لنبات المورينجا أوليفيرا لام ومقارنة تأثير غلاف البذور؛ البذور المقشرة وغير المقشرة.

أظهرت النتائج أن الملوحة لم تؤثر بشكل كبير على معدل الإنبات النهائي حيث بقي المعدل اعلى من 95 % لجميع التركيزات وأنواع البذور (GD و GND). ومن ناحية أخرى، لوحظ تأخر في الإنبات في البذور المعالجة ابتداء من 50 ملي ملي مولار من كلوريد الصوديوم وما فوق، كما لوحظ تثبيط تدريجي لنمو الجذور والساق وانخفاض في عدد الأوراق مع زيادة جرعات كلوريد الصوديوم المطبقة على جميع أنواع البذور خصوصا المقشرة. كشفت الدراسة التشريحية عن تغيرات في الجذور والسيقان بدءاً من جرعة 50 ملي مولار مليغرام من كلوريد الصوديوم في كلا النوعين من البذور (GD و GND)، مع انخفاض في عدد وقطر الأوعية الموصلة وخاصة نسيج الخشب خصوصا لدى البذور المقشرة.

تشير هذه النتائج إلى تحمل المورينجا أوليفيرا للملوحة بشكل معتدل في مرحلة الإنبات، وتؤكد زيادة حساسية الشتلات من البذور منزوعة القشرة.

الكلمات المفتاحية: مورينجا أوليفيرا لام، الإنبات، الملوحة، البذور المقشرة، البذور غير المقشرة، تشريح النبات

Liste des abréviations

°C : degré Celsius

Ca²⁺: Calcium.

Cl: Atome de chlore.

cm: Centimètres

F.A.O.: Food and agriculture organization.

GD : graine décortiquée

GND : graine non décortiquée

h : Heure.

H⁺: Proton.

HCO⁻³ : Hydrogénocarbonate.

H²PO⁻⁴ : Acide phosphorique

INSID : Institut National des Sols, de l'Irrigation et Drainage.

Mg⁺²:Magnesium.

mg / l : Milligrammes par litre.

Min : Minutes.

mM : Millimole

Na⁺ : Sodium.

NaCl : Chlorure de sodium.

NO⁻³ : Ion de nitrate.

pH : Potentiel hydrogène.

K⁺: Potassium

Kg: kilogramme

SO⁻⁴ : ion sulfate.

SS: shelled seeds

TG : Taux de germination

US: unshelled seeds

Liste de figures

Figure 1: Répartition des sols salins du nord algérien (INSID, 2008).....	5
Figure 2: Phénomène d'une salinisation primaire liée aux eaux souterraines (Rouhana, 2007)	6
Figure 3: Relation entre le taux de germination et le temps après l'imbibition des semences à différents niveaux de salinité (Läuchli et Grattan 2007).....	8
Figure 4: la différence entre la germination épigée et hypogée.....	11
Figure 5: courbe théorique d'imbibition d'une semence (Come, 1982).	13
Figure 6: Distribution de <i>Moringa oleifera</i> dans le monde (Saini et al., 2016)	16
Figure 7: Arbre du <i>Moringa oleifera</i> Lam. (Niko, 2014).....	17
Figure 8: Racines de <i>Moringa</i> (Hamad, 2022).....	17
Figure 9: Feuilles de <i>Moringa</i> (Hamad,2020)	18
Figure 10: fleurs de <i>Moringa</i> (Sivanesan <i>et al.</i> , 2010)	18
Figure 11: fruits du <i>Moringa</i> (boutique végétale, 2022).....	18
Figure 12: Graines de <i>Moringa</i> (Isabelle, 2019 ; Hamad, 2022)	18
Figure 13: équivalent en nutriments pour un même poids de poudre de feuilles de <i>Moringa</i> (Saint-Sauveur <i>et al.</i> , 2015).	20
Figure 14: Utilisation du <i>Moringa</i> en médecine traditionnelle. (Saint-Sauveur et al., 2015).....	21
Figure 15: Graines de <i>Moringa</i>	22
Figure 16: Grains de <i>Moringa oleifera</i> Lam. (a : GND, b : GD) mise à germe I.4. Paramètres étudiés	23
Figure 17: Microscope optique utilisé pour l'observation des coupes anatomiques au laboratoire. .	25
Figure 18: Organigramme montrant le protocole expérimental de la germination des graines du <i>Moringa oleifera</i> Lam.	25
Figure 19: Effet du NaCl sur le taux de germination final des graines non décortiquées.	27
Figure 20: Effet du NaCl sur le taux de germination final des graines décortiquées	28
Figure 21: Effet du NaCl sur la cinétique de germination des graines non décortiquées du <i>Moringa</i>	28
Figure 22: Effet du NaCl sur la cinétique de germination des graines décortiquées du <i>Moringa</i>	29
Figure 23: Effet du NaCl sur la longueur des radicules des graines non décortiquées du <i>Moringa</i> . 30	
Figure 24: Effet du NaCl sur la longueur des radicules des graines décortiquées du <i>Moringa</i>	31
Figure 25: Effet du NaCl sur la longueur des tigelles des graines non décortiquées du <i>Moringa</i>	31
Figure 26: Effet du NaCl sur la longueur des tigelles des graines décortiquées du <i>Moringa</i>	32
Figure 27: Effet du NaCl sur le nombre des feuilles des GND du <i>Moringa Oeifera</i> Lam.....	33
Figure 28: Effet du NaCl sur le nombre des feuilles des GD du <i>Moringa oleifera</i> Lam.....	34

Figure 29: Coupes transversales au niveau des radicules des graines <i>Moringa oleifera</i> Lam. stressées par le NaCl (Gro ×10).	35
Figure 30: Coupes transversales au niveau des tiges graines (GND et GD) de <i>Moringa oleifera</i> Lam. stressées au NaCl (Gro ×10)	36

Liste de tableaux

Tableau 1: Superficie affectée par la salinité en millions au monde	4
Tableau 2 : Classification systématique du <i>Moringa oleifera</i>	15
Tableau 3: Doses du NaCl appliquées durant la germination des graines de <i>Moringa oleifera</i> Lam.	Erreur ! Signet non défini.

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Abstract	
المخلص	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	1

Partie bibliographique

Chapitre I : La salinité

I.1. Généralités sur la salinité.....	3
I.2. La salinisation.....	3
I.3. La salinité dans le monde :	3
I.4. La salinité en Algérie.....	4
I.5. Types de la salinité	5
I.5.1. Salinité primaire.....	5
I.5.2. Salinité secondaire	6
I.7. Effet de la salinité sur les plantes	6
I.7.1. Sur la germination.....	7
I.7.2. Sur la croissance de la plante	8
I.7.3. Sur la photosynthèse	9
I.8. Les mécanismes de résistance à la salinité	9

Chapitre II : la germination

II.1. Généralités sur la germination.....	11
II.2. Types De Germination	11
II.2.1. Germination Epigée	11
II.2.2. Germination Hypogée.....	11
II.3. Morphologie de la germination	12
II.4. Physiologie de la germination	12
II.5. Conditions de la germination	12
II.2.5.1. Conditions Internes.....	12

II.2.5.2. Conditions Externes.....	12
II.6. Etapes de la germination	13
II.7. Dormances des graines.....	13
II.7.1. Définition de la dormance	13
II.7.2. Type De Dormance.....	14
Chapitre III : <i>Moringa oleifera</i> Lam.	
III.1. Généralités sur <i>Moringa oleifera</i> Lam.....	15
III. 2. Classification botanique du <i>Moringa oleifera</i> Lam.	15
III. 3. Historique et répartition géographique du <i>Moringa oleifera</i> Lam.....	15
III. 3.1. Dans le monde.....	16
III. 3.2. En Algérie.....	16
III. 4. Caractéristiques morphologiques du <i>Moringa oleifera</i> Lam.	17
III. 5. Exigences de la culture du <i>Moringa oleifera</i> Lam.....	19
III. 6. Intérêts du <i>Moringa oleifera</i> Lam.....	19
III. 6.4. Agronomique.....	21
III. 6.5. Purification de l'eau	21

Partie expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

I.1. Objectif de l'étude	22
I.2. Matériel végétal utilisé	22
I.3. Déroulement de l'expérimentation	22
I.3.1. Préparation des boîtes de Pétri.....	22
I.3.2. Préparation des solutions salines.....	22
I.3.3. Préparation des grains de <i>Moringa oleifera</i> Lam. pour la germination.....	23
I.4. Paramètres étudiés	23
I.4.1. Paramètres de germination.....	23
I.4.1.1. Taux de germination final.....	23
I.4.1.2. Cinétique de germination.....	24
I.4.1.3. Longueur de la tigelle et longueur de la radicule.....	24
I.4.1.3. Nombre des feuilles	24
I.4.2. Paramètre anatomique.....	24
I.5. Analyse des données.....	26

Chapitre II : Résultats et discussion

II.1. Résultats	27
II.1.1. Paramètres de germination	27
II.1.1.1. Effet de NaCl sur le taux de germination final des graines non décortiquées (GND).....	27
II.1.1.2. Effet du NaCl sur le taux de germination final des graines décortiquées.....	27
II.1.1.3. Effet du NaCl sur la cinétique de germination des graines non décortiquées du Moringa	28
II.1.1.4. Effet du NaCl sur la cinétique de germination des graines décortiquées du Moringa	29
II.1.1.5. Effet du NaCl sur la longueur des radicules des graines non décortiquées du Moringa	29
II.1.1.6. Effet du NaCl sur la longueur des radicules des graines décortiquées du Moringa	30
II.1.1.7. Effet du NaCl sur la longueur des tigelles des graines non décortiquées du Moringa	31
II.1.1.8. Effet du NaCl sur la longueur des tigelles des graines décortiquées du Moringa	32
II.1.1.9. Effet du NaCl sur le nombre des feuilles des graines non décortiquées du Moringa.....	33
II.1.1.10. Effet du NaCl sur le nombre des feuilles des graines décortiquées du Moringa.....	33
II.1. Paramètres anatomiques	34
II.1.2.1. Effet du NaCl sur l'anatomie des radicules des graines des graines décortiquées et non décortiquées de Moringa	34
II.1.2.3. Effet du NaCl sur l'anatomie de la tigelle des graines décortiquées et non décortiquées de Moringa	35
II.2. Discussion générale.....	37
II.2.1. Effet du NaCl sur la germination du Moringa oleifera Lam.	37
II.2.1.1. Effet du NaCl sur le taux de germination du Moringa	37
II. 2.1.2. Effet du NaCl sur la longueur des radicules et des tigelles de Moringa.....	38
II.2.1.3. Effet du NaCl sur le nombre des feuilles de Moringa	38
II.2.2. Effet du NaCl sur l'anatomie du Moringa oleifera Lam.	39
Conclusion et perspectives	40
Références Bibliographiques	41
Annexes	

Introduction générale

La salinisation des sols est un problème environnemental majeur, notamment dans les régions marquées par des sécheresses rigoureuses et fréquentes. En général, la salinité affecte la productivité agricole et compromet la sécurité alimentaire mondiale. Elle se caractérise par l'accumulation de sels solubles dans le sol, ce qui rend ce dernier moins fertile et moins adapté à la croissance et au développement des plantes (Bouda et Haddioui, 2011).

Selon la FAO (2024), les sols affectés par la salinisation couvrent 1,4 milliard d'hectares, soit 10,7 % de la superficie terrestre mondiale. Cette proportion pourrait atteindre entre 24 et 32 % avec l'augmentation des températures. Il est également estimé que 10 % des cultures irriguées et 10 % des cultures pluviales sont touchées par la salinité. L'Algérie figure parmi les pays concernés, avec environ 3,2 millions d'hectares de sols salins. La salinité affecte de manière significative les aspects économiques et sociaux des régions arides et semi-arides (Ashraf *et al.*, 2012).

La salinité des sols peut avoir une origine naturelle, comme un faible rapport précipitations/évaporation ou la présence de roches mères salines..., ou bien une origine anthropique, due à l'utilisation d'eaux d'irrigation de mauvaise qualité, à l'accumulation de substances chimiques provenant d'effluents industriels, ou encore à l'usage excessif d'engrais minéraux (Tester et Davenport, 2003 ; Rengasamy, 2006)

Ce phénomène s'agit l'un des principaux facteurs abiotiques limitant la productivité végétale, en affectant la croissance et le développement des plantes (Baatour *et al.*, 2004). Dans les régions les plus touchées, la salinité peut provoquer des pertes de rendement allant jusqu'à 70 % (FAO, 2024). Ses effets sur les plantes se traduisent par des modifications morphologiques, physiologiques et moléculaires qui altèrent leur développement (Araus *et al.*, 2002). Ces effets se manifestent généralement par une réduction de la croissance de l'appareil végétatif : faible ramification, diamètre réduit des organes, diminution du nombre de feuilles, et raccourcissement des tiges et des racines (Rush *et al.*, 1981). Le stade de la germination est particulièrement sensible à la salinité. Celle-ci réduit la capacité germinative et/ou l'énergie de germination des graines (Bouda et Haddioui, 2011). Ainsi, la germination devient un facteur déterminant pour la réussite de l'établissement des plantes en milieux salés (Daroui *et al.*, 2012).

Donc, La réponse des plantes au stress salin varie selon l'espèce et le stade de développement de la plante et la réponse des graines à la salinité pourrait être un indicateur de la tolérance des plantes au sel pour les stades ultérieurs développement. (Benyahia, 2020). Pour y faire face, les plantes développent diverses stratégies d'adaptation et de défense (Netting, 2002). Elles disposent de mécanismes de perception et de signalisation complexes leur permettant de répondre de manière plus ou moins spécifique au stress salin (Fetnassi, 2015).

La raréfaction des terres arables pousse à valoriser les sols salinisés en y cultivant des espèces tolérantes (Adjel, 2017). Les halophytes, plantes naturellement tolérantes aux sels solubles, peuvent se développer aussi bien en milieux salins qu'en conditions normales. Elles représentent l'extrême des capacités adaptatives des végétaux vasculaires face à la salinité (Chadou *et al.*, 2021).

Dans cette perspective, il est crucial de réfléchir aux stratégies de valorisation des sols affectés, et de mener les investigations nécessaires pour comprendre les mécanismes mis en œuvre par les plantes afin de s'adapter à ces conditions (Brahimi, 2017).

Moringa oleifera Lam. est une plante originaire de l'Inde, aujourd'hui répandue dans les zones tropicales et subtropicales du monde. Il s'agit d'un arbre à usages multiples qui attire de plus en plus l'attention des populations tant rurales que citadines. En effet, toutes ses parties sont utilisées pour leurs propriétés nutritionnelles, médicinales, artisanales, ou encore pour la purification de l'eau. Le moringa joue un rôle important dans la conservation des sols, la gestion de l'eau et dans l'atténuation des effets du changement climatique. Il génère des revenus importants pour les producteurs et occupe une place croissante dans l'économie (Bibata *et al.*, 2023).

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer l'effet de la salinité à quatre doses (0, 25, 50 et 100 mM) sur les paramètres de germination et les paramètres anatomiques de *Moringa oleifera* Lam. La plante a été choisie en raison de son utilisation au laboratoire comme plante modèle pour les études d'éco-toxicologie de différents types de stress.

Notre mémoire est structuré en deux parties principales :

- ✚ **Une partie théorique**, composée de trois chapitres. Le premier chapitre présente la problématique de la salinité des sols dans le monde, avec un focus particulier sur le contexte algérien, ainsi que ses effets sur les plantes. Le deuxième chapitre donne un aperçu général sur le premier stade de développement de la plante ; la germination. Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la plante miracle *Moringa oleifera* Lam.
- ✚ **Une partie pratique**, également composée de deux chapitres. Le premier chapitre est dédié aux matériel et méthodes utilisées. Le second chapitre expose les résultats obtenus ainsi que leur interprétation.
- ✚ Le mémoire se conclut par une conclusion générale et des perspectives.

Partie bibliographique

Chapitre I

La salinité

I.1. Généralités sur la salinité

La salinité est l'un des principaux facteurs réduisant la croissance et la productivité des végétaux à l'échelle mondiale (El-Hendawy *et al.*, 2004). Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols et des eaux comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en (Na^+), (Ca^{++}), (Mg^{++}) sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations élevées. Parmi les cations et les anions dans les solutions salines du sol on trouve Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} et K^+ ; Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , CO_3^{3-} et NO_3^- . Dans certains cas des constituants tels que B, Sr^{++} , SiO_2 , Mo, Ba^{++} et Al^{3+} peuvent participer à la salinité des sols et des eaux sursalés(hypersalins). Legros (2012), signale que les principales caractéristiques de ces sels c'est qu'ils sont plus solubles que le gypse, et sont susceptibles à passer dans la solution du sol en quantité assez importantes, et vont ainsi gêner la croissance des plantes (Servant, 1978).

En régions arides et semi-arides les sels les plus fréquents sont surtout les chlorures et les sulfates de sodium, les sulfates de magnésium et à un moindre degré les carbonates de sodium (Servant, 1978). En général, un sol salé indique la prédominance de NaCl (Ben kaddour,2014).

I.2. La salinisation

La salinisation est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salin. La salinisation peut aussi être défini comme un processus d'accumulation des sels solubles. La salinisation est un processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol, il s'en suit une diminution des rendements, et à terme, une stérilisation du sol (Boukhalifa, 2013).

I.3. La salinité dans le monde :

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe, en estimant d'environ 15% (soit 227 millions d'hectares) des terres cultivables sont affectés par la salinité et 0,5% à 1% des cultures sont délaissées chaque année. La zone aride occupe environ le 1/3 de la surface terrestre et se trouve surtout concentrée en Afrique, en Asie et en Australie (Halitim, 1988). En Afrique du nord et au Moyen-Orient, la salinité couvre près de 15 millions d'hectares, dont 15% sont dépourvus de toute végétation (Abbad, 2018).

Tableau 1: Superficie affectée par la salinité en millions(FAO,2008)

Régions	Sols salins		
	Surface totale	Millions d'hectares	%
Afrique	1899	39	20
Asie, Australie	3107	195	6.3
Europe	2011	07	0.3
Amérique latin	2039	61	3.0
Moyen Orient	1802	92	5.1
Amérique du nord	1924	05	0.2
Total	12781	382	3.1

I.4. La salinité en Algérie

Les dommages de la salinité sont connus dans les pays du Maghreb, à cause de la mauvaise gestion des eaux d'irrigation. D'après l'Algérie fait partie des pays méditerranéens où la sécheresse observée depuis longtemps, a mené à la salinisation des sols sur environ 25% de la surface soit 3,2 millions d'hectares de terres. La rareté de la pluie (<100 mm/an), en zones semi-arides et arides qui couvrent près de 95% du territoire, a contraint les agriculteurs à utiliser les eaux des nappes phréatiques qui sont fortement minéralisées. (Abbad, 2018). En Algérie, la plupart des sols agricoles sont affectés ou sensible à la salinité. Les sols salins sont répandus dans les plaines d'Oranie, dans la vallée de Mina près de Relizane, dans les hautes plaines du sud de Sétif et de Constantine, et en bordure de certaines zones courtes comme le chott Melghir. Ils s'étendent également largement dans le Sahara, au sud de Biskra jusqu'à Tuguert et Ouargla. Dans les zones arides, les sols couvrent environ 25% de la surface cartographique (Soit 3.2 millions d'hectares). La teneur en sodium des sols du sud est nettement plus élevée que celle du nord (Chaker et Djamada,2024) .

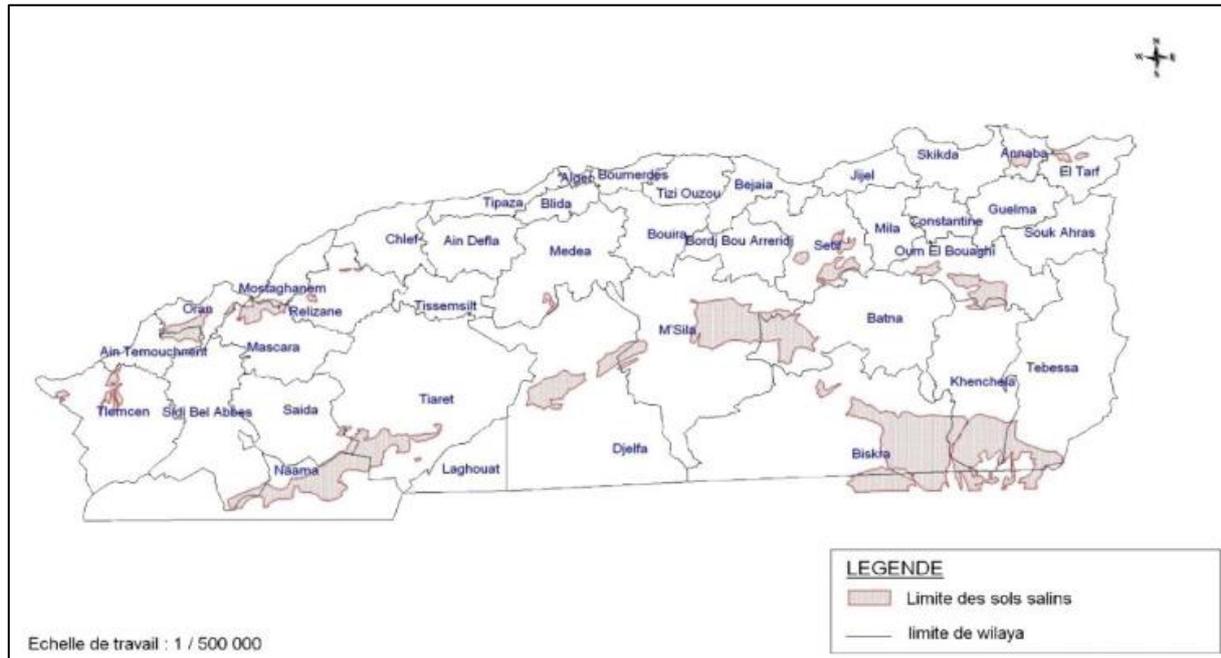


Figure 1: Répartition des sols salins du nord algérien (INSID, 2008)

I.5. Types de la salinité

La salinité peut être d'origine naturelle (salinisation primaire) ou anthropique (salinisation secondaire). Le premier type constitue 80% de salinisation, alors que le deuxième type représente 20% de salinisation (FAO et IPTRID, 2006)

I.5.1. Salinité primaire

L'accumulation de sels dans le sol est causée par deux processus naturels. Le premier est l'altération des roches renfermant des sels solubles ; les différents sels se libèrent, qui sont essentiellement des chlorures de sodium, de calcium et de magnésium, et moins importants, les sulfates et les carbonates. Le chlorure de sodium est le sel le plus soluble. Le second est le dépôt des sels marins transporté dans le vent et la pluie ; sont des sels de la mer menées par le vent et déposées par la pluie, et sont constitués principalement de chlorure de sodium. L'eau de ces pluies contient 5 à 50 milligrammes / kg de sel (Munns, 2002). Selon Cyrus *et al.* (1997), les zones côtières soumises aux marées sont les plus exposées à cette salinisation. Ce type de salinisation représente 80 % des sols salins (Chadou *et al.*, 2021).

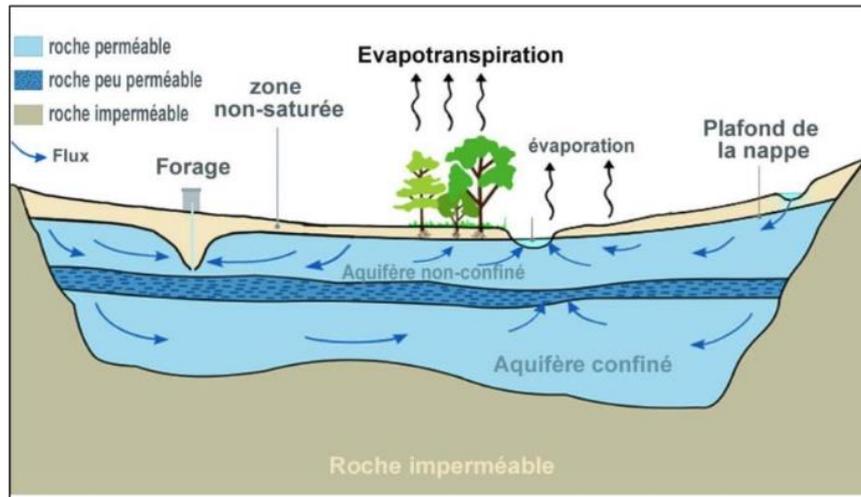


Figure 2: Phénomène d'une salinisation primaire liée aux eaux souterraines (Rouhana, 2007)

I.5.2. Salinité secondaire

La salinisation d'origine secondaire est appelée aussi salinisation anthropique, car elle est causée par l'intervention humaine et des pratiques agricoles avec mauvaise gestion. Les principales causes de cette salinisation sont :

- L'irrigation avec une eau salée : suite à une irrigation l'eau stagne dans les sols par manque de drainage d'où résulte l'accumulation des sels en surface suite à l'évaporation (Ramade, 2008) ;
- La contamination avec des produits chimiques dans les systèmes agricoles intensifs modernes, en particulier dans les serres. Dans les systèmes fermés ou semi fermés (serres) les sels tendent à s'accumuler, si les produits chimiques ne sont pas éliminés régulièrement (Pessarakli, 1991).
- Le défrichement est reconnu comme une cause majeure de la salinisation des sols (Szabolcs, 1994) ;
- L'accumulation des sels d'origine industrielle (eaux usées) dans les sols peuvent provoquer la salinisation de ces derniers. (Szabolcs, 1994 ; Bouwer, 2002).
- La remontée des nappes phréatiques salées à proximité de la surface et transport de sels par remontées capillaires (Lacharme, 2001). El-Fergougui et Boutoutaou (2012), ajoutent que l'évaporation diminue avec l'éloignement du niveau de la nappe de la surface du sol (minimale au-dessous de 2 m).

I.7. Effet de la salinité sur les plantes

Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient en fonction du type de salinité, de la concentration du sel, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (Levigneron *et al.*, 1995). Cet effet néfaste se traduit par des changements

morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance et la productivité végétale (Ashraf et Harris, 2004).

I.7.1. Sur la germination

La germination des semences est l'une des phases les plus fondamentaux et vitaux dans le cycle des plantes qui déterminent la croissance des plantes et le rendement des cultures (Hasanuzzaman *et al.*, 2013). En général, la germination des plantes, qu'elles soient halophytes ou glycophytes, est affectée par la salinité. Selon l'espèce, l'effet inhibiteur peut être de nature osmotique ou toxique (Ismail, 1990).

- ❖ **Les effets osmotiques** se traduisent par l'incapacité des graines à absorber une quantité suffisante d'eau pour atteindre le seuil critique d'hydratation nécessaire au déclenchement du processus de germination (Rejili *et al.*, 2006).
- ❖ **Les effets toxiques** sont liés à l'accumulation de sels au niveau cellulaire, ce qui provoque des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination. Cela empêche la levée de dormance des embryons et conduit à une diminution de la capacité de germination (Rejili *et al.*, 2006).

La germination représente le premier stade de croissance de la plante, et elle est cruciale pour l'établissement des espèces dans des environnements salins. Le stade plantule est considéré comme le plus vulnérable du cycle de vie des plantes (Bouda, 2011).

Plusieurs études ont porté sur l'effet du stress salin sur la germination de différentes espèces. Ces travaux ont révélé une diminution du taux de germination avec l'augmentation de la salinité. Cette réduction est généralement attribuée à une mauvaise imbibition des graines, causée principalement par une augmentation de la pression osmotique externe (Öztürk *et al.*, 2006), à la toxicité des ions chlorure (Cl^-) (Esechie, 1995 ; Sosa *et al.*, 2005), ou encore à une diminution de la mobilisation des réserves nutritives des graines (Othman, 2006). Toutefois, la sensibilité au stress salin varie d'une espèce à une autre.

D'autres paramètres sont également affectés par la salinité au stade plantule, tels que la réduction de la longueur des racines (Khodarahmpour *et al.*, 2012), la diminution de la longueur de la coléoptile, du nombre de racines, ainsi que de la vitesse de germination (Adjel *et al.*, 2013). Läuchli et Grattan (2007) ont proposé un schéma illustrant la relation entre le taux de germination et le temps écoulé après l'imbibition des graines à différents niveaux de salinité : plus la salinité est élevée, plus le temps nécessaire au déclenchement de la germination est long.

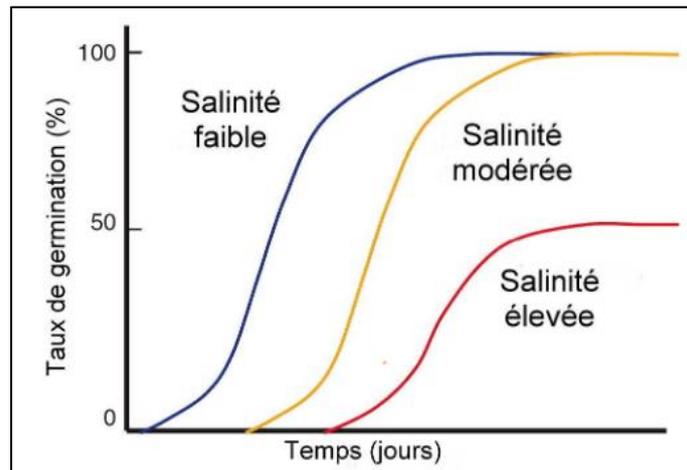


Figure 3: Relation entre le taux de germination et le temps après l'imbibition des semences à différents niveaux de salinité (Läuchli et Grattan 2007)

I.7.2. Sur la croissance de la plante

Les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, caractérisé par la faible ramification, le faible diamètre des organes, le nombre réduit des nœuds et les réductions du nombre de feuilles et de la longueur de la tige et par conséquent l'augmentation du rapport racine/tige. Une baisse des poids de matières fraîche et sèche (Chelghoum, 2020). Cette inhibition de la croissance des plantes se fait selon trois manières principales : par une toxicité ionique (surtout de Na^+ et Cl^-) un stress osmotique et une perturbation nutritionnelle (Greenway et Munns, 1980; Levignero *et al.*, 1995, Lemzeri, 2007).

- ✚ **Toxicité ionique :** L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique. L'interaction entre les ions Na^+ et Ca^{2+} influe sur la croissance des racines des plantes (El fakhri .2010).
- ✚ **Stress osmotique :** Une conséquence de stress salin, est l'apparition du stress oxydatif, c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives d'oxygène (ROS) à des concentrations élevées, qui endommagent les structures cellulaires. Ces derniers sont à l'origine du dysfonctionnement de l'appareil photosynthétique et les autres troubles métaboliques. La plupart d'entre eux sont des peroxydes d'hydrogène, des radicaux hydroxyles et des anions super oxyde (Rahnama et Ebrahimzadeh, 2005). Des antioxydants nécessaires pour faire face au ROS et de maintenir leur concentration à faible niveau dans les cellules lors du stress (Reddy *et al.*, 2004).
- ✚ **Perturbation nutritionnelle :** L'excès de NaCl , est susceptible de perturber la nutrition minérale des plantes en limitant l'absorption et l'accumulation d'autres éléments nutritifs

(Ayadi et Bounegab, 2020). Certains sels peuvent affecter la balance nutritionnelle chez les plantes s'ils sont présents en concentration excessive ou en proportion anormale. La présence excessive d'ions sodique, chlorique et borique peut provoquer une augmentation du pH du sol, ce qui a un effet indirect sur l'impossibilité d'absorption des ions ferreux, phosphate, zinc et manganèse indispensable pour la croissance des plantes (Maillard, 2001).

I.7.3. Sur la photosynthèse

La salinité réduit la photosynthèse de la plante. Cette réduction est due aux effets complexes d'interactions osmotiques, ioniques, et nutritionnelles. La présence de NaCl dans le sol fait réduire l'intensité de la transpiration des glycophytes et de nombreux halophytes en l'absence de toute diminution de la turgescence (Abbad, 2018). Les conséquences de la diminution de la photosynthèse sont la diminution de la croissance et du rendement (Sudhir and Murthy, 2004), diminution de la conductance stomatique ce qui diminue la disponibilité de CO₂ dû à la fermeture des stomates (Parida et Das, 2005).

I.8. Les mécanismes de résistance à la salinité

Les plantes peuvent répondre aux stress de diverses façon ; elles accomplissent leur croissance durant les périodes de moindre stress ou bien ne peuvent pas le supporter auquel cas elles peuvent subir des lésions. Ou bien, subies des modifications spécifiques de leur métabolisme leur permettant d'éviter ou de tolérer les effets de stress (Lardjani, 2019). Les plantes peuvent adapter au stress salin de deux manières : l'exclusion des ions sodium (Na⁺) des cellules, soit leur séquestration dans la vacuole. Ces deux mécanismes constituent des déterminants majeurs de la tolérance des plantes au stress salin.

❖ L'inclusion :

En général, chez les plantes tolérantes, le Na⁺ est bien compartimenté dans la vacuole (Cheeseman, 1988), pour éviter leur toxicité (Munns et Tester, 2008). Cette vacuole est le compartiment cellulaire le plus volumineux qui permet un stockage massif de Na⁺. Une fois la capacité d'accumulation de la vacuole est saturée, les ions Na⁺ vont s'accumuler soit dans le cytoplasme, soit dans les parois cellulaires des parties aériennes (Munns, 1993). En plus, une plante est plus tolérante au stress salin lorsqu'elle maintien un rapport optimum du rapport K⁺/Na⁺ dans le cytosol (Singla-Pareek *et al.*, 2008). Une étude menée sur l'orge a montré que le Na⁺ s'accumule préférentiellement au niveau de l'épiderme des feuilles, ce processus permet de stocker le Na⁺ dans les cellules épidermiques, qui présentent de grandes vacuoles, au lieu de le stocker dans les cellules du mésophylle (partie interne des feuilles) chargées de l'activité photosynthétique (Karley *et al.*, 2000). Une autre stratégie d'adaptation à la salinité chez plusieurs plantes, consiste à l'évitement de

l'accumulation de Na⁺ dans les tissus juvéniles en pleine croissance (Yeo et Flowers, 1982). Dans certains cas, le sel peut également être excrété vers l'extérieur par des glandes spécialisées (Alem , 2002).

❖ L'exclusion

Pour ce type de tolérance, les racines des plantes doivent exclure la majeure partie du Na⁺ et Cl⁻ dissous dans la solution du sol, et d'échapper à leur accumulation progressive dans les pousses à des niveaux toxiques (Munns, 2005). L'exclusion débute avec la sélectivité de la membrane racinaire, et de l'existence de transporteurs sélectifs et d'un transport vers le milieu extérieur des ions déjà absorbés (Apse et Blumwald, 2007). L'exclusion du sodium est effectuée à l'aide d'une série combinée de protéines de type SOS « salt overly sensitive » (Zhu, 2003) ; SOS1 (transporteur membranaire), est un antiport Na⁺/H⁺ localisé au niveau de la membrane plasmique, qui joue un important rôle dans le mécanisme d'exclusion de sodium vers le milieu extérieur (Zhu, 2003; Mahajan *et al.*, 2008) ; SOS2 et SOS3 assurent simultanément la régulation de l'activité de SOS1 et celle de l'antiport vacuolaire NHX1 (Zhu, 2002 ; Qiu *et al.*, 2004). Pour réduire l'accumulation de sodium au niveau aérien de la plante, le complexe protéique SOS interagit avec le transporteur HKT1 (situé sur la membrane plasmique) qui est responsable de la recirculation du sodium des feuilles vers les racines via le phloème (Hauser et Horie, 2010).

Chapitre II

La germination

II.1. Généralités sur la germination

La germination est le premier stade du cycle de vie des plantes pour produire une nouvelle génération. La Germination est définie comme la somme des événements qui conduisent la graine sèche à germer ; elle commence par la prise d'eau et se termine par l'allongement de l'axe embryonnaire (Hopkins, 20) . C'est une phase physiologique qui correspond à la transition de la phase de vie latente de la graine sèche à la phase de développement de la plantule. Le processus de germination commence dès que la graine est hydratée. Elle est la reprise du métabolisme (absorption de l'eau, imbibition, respiration, activité enzymatique) d'un embryon, jusqu'à ce qu'il devienne une jeune plante autotrophe. (Benyahia,2020) .

II.2. Types De Germination

Il existe deux types de germination des graines :

II.2.1. Germination Epigée

La graine est soulevée hors du sol car il y a un accroissement rapide de la tigelle qui donne l'axe hypocotyle qui soulève les deux cotylédons hors du sol. La gemmule se développe (après la radicule) et donne une tige feuillée au-dessus des deux cotylédons. Le premier entrenœud donne l'épicotyle. Les premières feuilles, au-dessus des cotylédons sont les feuilles primordiales (Hraki, 2020).

II.2.2. Germination Hypogée

La graine reste dans le sol, la tigelle ne se développe pas et les cotylédons restent dans le sol (Hraki, 2020). L'élongation se fait alors Dans la gemmule. Les cotylédons gardent leur attache avec la partie inférieure de La tigelle. Ils alimentent ainsi pendant quelques temps (plusieurs semaines Souvent) la plantule, mais après l'épuisement des matières de réserves, ils se dessèchent et disparaissent (Gampine,1992).

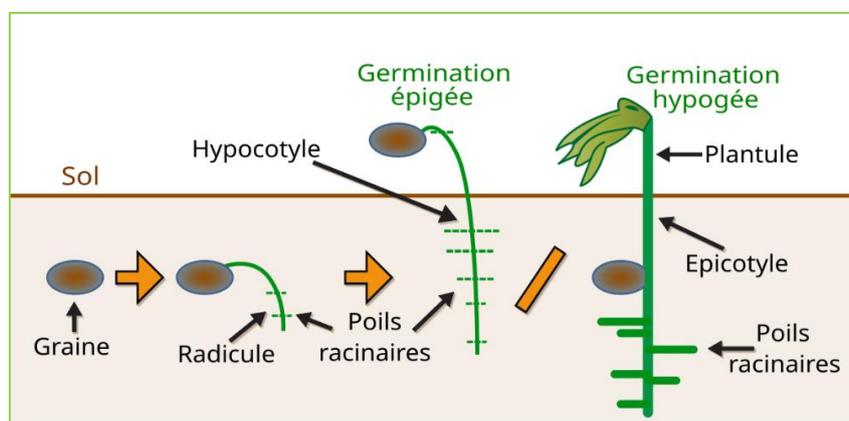


Figure 4: la différence entre la germination épigée et hypogée

II.3. Morphologie de la germination

La graine s'imbibe d'eau se gonfle, le tégument se fend et la radicule émerge et s'oriente vers le milieu (sol) selon un géotropisme (gravitropisme) positif. Puis, la tigelle émerge et s'allonge vers le haut (le ciel) selon un phototropisme positif et un géotropisme négatif. Les téguments de la graine se dessèchent et tombent (Slimani,2010).

II.4. Physiologie de la germination

Au cours de la germination, la graine se réhydrate et consomme de l'oxygène pour oxyder ses réserves en vue d'acquérir l'énergie 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 (Medjouri et Laib ,2016).

II.5. Conditions de la germination

Pour germer, les graines ont besoin de certaines conditions internes, telles que la maturité, ainsi que de conditions externes, comme la présence d'eau, d'oxygène et d'une température adéquate.

II.2.5.1. Conditions Internes

Avant la germination, la graine doit répondre à de nombreuses conditions internes qui sont la maturité ; c'est-à-dire que toutes les parties qui la constituent soient complètement différenciées morphologiquement, et aussi que son embryon soit prêt à croître pour former les racines et plantules de la jeune plante, avec la disponibilité de l'amidon, des protéines, des lipides ou d'autres nutriments (Kaghouché, 2020).

II.2.5.2. Conditions Externes

- a. **L'eau** : L'eau joue un rôle important dans la croissance de la plante. Elle doit être disponible dans le milieu extérieur en quantité suffisante (Heller *et al.*, 2004). L'absorption de l'eau par la semence s'effectue par osmose, au travers du tégument qui lui-même plus au moins cellulosique en retient des quantités importantes (Bensaadi, 2011).
- b. **L'oxygène** : es dissous dans l'eau d'imbibition est utilisé par l'embryon pour ces besoins métaboliques. La germination engage de nombreuses oxydations ; les semences germent dans l'eau courante seulement (Bensaadi, 2011).
- c. **Température** : La température est un facteur très important pour la germination, toutefois la température optimale peut varier considérablement entre différentes espèces. La plupart des espèces ont une température maximum et minimum, au-delà ou en-dessous de laquelle la germination n'aura pas lieu (FFI, 2013). Une température supérieure à 0° C est exigée pour

la germination. Cependant l'optimum de croissance se situe entre 20 et 26° (Kaghouché, 2020).

d. La Lumière : La lumière qui agit de manière différente sur les espèces. Elle inhibe la germination des espèces photosensibles négatives et stimule les photosensibles positives (Anzala, 2006).

II.6. Etapes de la germination

La germination comprend trois phases successives (Figure 05) : la phase d'imbibition, la phase de germination *stricto sensu* et la phase de croissance.

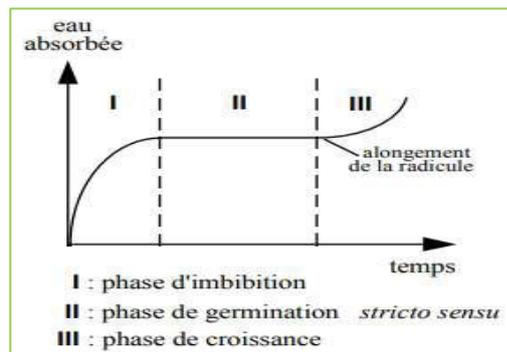


Figure 5: courbe théorique d'imbibition d'une semence (Come, 1982).

- La Phase I**, ou phase d'imbibition, assez brève selon les semences (de 6 à 12h), caractérisée par une forte hydratation des tissus, accompagnée d'une élévation de l'intensité respiratoire (Heller *et al.*, 2000).
- La Phase II**, ou phase de germination *stricto sensu*, au cours de cette phase il y'a une stabilisation de l'hydratation et de la respiration a un niveau élevé. Cette Phase, Est Relativement Brève Aussi De 12 A 48 Heures. Elle s'achève avec l'émergence de la radicule hors des téguments séminaux. Durant cette phase, la graine peut être réversiblement déshydratée et réhydratée sans dommage apparent pour sa viabilité (Heller *et al.*, 2000).
- La Phase III**, Est Caractérisée Par Une Reprise De L'absorption D'eau Et Une Augmentation De La Consommation D'oxygène, Elle Correspond A Un Processus De Croissance De La Radicule Puis La Tigelle (Heller *et al.*, 2000).

II.7. Dormances des graines

II.7.1. Définition de la dormance

La dormance est un état physiologique durant lequel les fonctions biologiques d'une plante sont stoppées. C'est un repos apparent de l'activité de croissance d'un organisme ou d'une partie d'un

organisme. Le processus est régulé par les hormones végétales et en particulier par l'acide abscissique. La dormance peut concerner la graine ou les bourgeons (Hilhorst, 2007).

II.7.2. Type De Dormance

Les semences qui ne germent pas dans les différentes conditions de milieu, sont des semences dites « dormantes », et leur dormance peut concerner soit les téguments (inhibition tégumentaire), soit l'embryon (dormance au sens strict), soit les deux à la fois. (Gherssi et Abdelmalek, 2020).

- ❖ **Dormance Tégumentaire : L'imperméabilité** à l'eau ou à l'oxygène cause des dormances tégumentaires, c'est le cas des graines dures. Les inhibitions tégumentaires peuvent être facilement définies par : les semences ont des enveloppes ; totalement imperméable à l'eau, les enveloppes séminales ne sont pas suffisamment perméables à l'oxygène (Gherssi et Abdelmalek, 2020).
- ❖ **Dormance embryonnaire** : Il existe deux types de dormance embryonnaire :
 - a. **Dormance primaire** : où l'embryon peut être dormant au moment de la récolte des semences.
 - b. **Dormance secondaire** : dont laquelle l'embryon est capable de germer mais il perd cette aptitude sous l'influence des facteurs défavorables à la germination (Chaussat *et al.*, 1975).

Chapitre III

Moringa oleifera Lam.

III.1. Généralités sur *Moringa oleifera* Lam.

Moringa est une plante de la famille des Moringaceae, la seule famille des arbres et des arbustes qui possède 13 espèces, qui sont : *M. Arborea*, *M. Borziana*, *M. Concanensis*, *M. Drouhardii*, *M. Hildebrandtii*, *M. Longituba*, *M. Ovalifolia*, *M. Peregrina*, *M. Pygmaea*, *M. Rivae*, *M. Ruspoliana*, *M. Stenopetala* et *M. Oleifera* (Zongo *et al.*, 2013 ; Atakpama *et al.*, 2014).

Moringa est cultivé essentiellement en Afrique et en Asie sur tout dans les zones tropicale et subtropicale. Cet arbre est caractérisé par sa forte adaptation aux différents environnements y compris la sécheresse et les conditions arides en raison de leurs racines tubéreuses. L'ensemble de l'arbre de *Moringa* (feuilles, grains, fleurs, gousses vertes et racines) est exploité dans divers domaines : alimentaires, médicinales et nutraceutiques. Comme elle est utilisée dans la purification des eaux usée, la production de biodiesel, etc (Maizuwo *et al.*, 2017).

Cette plante porte différents noms selon les régions. Dans les pays francophones, il est appelé Acacia blanc, ben ailé, *moringa* ailé, benzolive, pois quénique l'arbre de vie, l'arbre miracle ou plante divine... Dans les pays anglophones, on le trouve sous les noms : miracle tree, Horseradish tree, Never die tree, Radish tree ou encore Mother's Best riend ou malunggay (aux Philippines) (Price, 1985; Foidl *et al.*, 2001; Boullard, 2001).

III. 2. Classification botanique du *Moringa oleifera* Lam.

Tableau 2 représente la classification systématique du *Moringa oleifera* (Laley *et al.*, 2015).

Règne	Plantae
Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Angiospermes
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Dillenida
Ordre	Capparidales
Famille	Moringaceae
Genre	<i>Moringa</i>
Espèce	<i>Oleifera</i> .

III. 3. Historique et répartition géographique du *Moringa oleifera* Lam.

L'histoire de *Moringa Oleifera* remonte à 150 avant Jésus Christ, des preuves historiques indiquent que les rois et les reines antiques ont utilisé, les feuilles et les fruits de *Moringa Oleifera* dans leur régime alimentaire pour maintenir la vigilance mentale et une peau saine (Fahey, 2015).

Le *Moringa Oleifera* est une espèce originaire des régions Sub Himalayennes d'Inde, du Pakistan, du Bangladesh et d'Afghanistan (Fathey, 2005). Elle a été largement utilisée par les anciens

Romains, les Grecs et les Egyptiens (Fuglie, 2001). Maintenant elle est largement distribuée un peu partout dans le monde, dans les régions tropicales du sud et central et d'Amérique, d'Afrique, d'Asie, le pacifique, et des îles des Caraïbes (Alhakmani *et al.*, 2013). Elle est introduite en Afrique au début des 20^{èmes} siècles (Foidl *et al.*, 2001 ; Grubben et Denton, 2004).

III. 3.1. Dans le monde

Moringa oleifera est un arbre originaire de l'Inde, dans les vallées au sud de la chaîne de montagne de l'Himalaya, mais elle est cultivée aujourd'hui dans toutes les régions tropicales et sub-tropicales du monde telles que : le Pakistan, le Bangladesh, l'Afghanistan et le Sri Lanka et également la Malaisie, les Philippines, Singapour, la Thaïlande, le Mexique, le Pérou, les îles des Caraïbes, le Paraguay et le Brésil. Son introduction en Afrique de l'Est a eu lieu au début du 20^e siècle par le biais du commerce et des échanges maritimes. Durant cette période, elle est utilisée comme plante médicinale et alimentaire (Idriss Seyf El Islam -Mohamed Amine-2021).



Figure 6: Distribution de *Moringa oleifera* dans le monde (Saini et al., 2016)

III. 3.2. En Algérie

En 2000, un essai d'introduction le *Moringa oleifera* en Algérie a été réalisé à titre expérimental à partir de semences en provenance de Dar El Salem (Tanzanie) ont été réalisés dans de nombreuses stations à travers l'Algérie (Bainem, eralda, Mostaganem, Jijel, Biskra, Adrar et Tamanrasset) (Louni, 2009). Puis en 2005, Des agriculteurs de la région de Tabelbala (400 km au sud de Béchar) ont réussi l'introduction de cette plante et obtenu des résultats positifs dans son adaptation à cette région saharienne, dont l'origine des graines utilisées est de l'Inde qui ont été semés dans de petites parcelles. La plantation future, à grande échelle, du *Moringa* (très résistant à la chaleur) aura certainement des effets bénéfiques pour l'agriculture et l'économie de cette région (L'ECHO, 2018). Une autre expérience de la culture de cette espèce a été introduite à la ferme de démonstration et de production de semences (FDPS) de Hassi-Benabdallah (Ouargla) en 2017 sur de petites parcelles de terre (moins d'un hectare et extensibles), offrent d'importantes caractéristiques d'adaptation aux conditions climatiques et édaphiques de la région, l'aridité et la

salinité du sol et de l'eau (Barghouti, 2019 ; Hamad,2022).En Algérie, le *Moringa oleifera* est un arbre peu connu, actuellement son introduction a réussi dans plusieurs régions à savoir : Ouargla, Bechar, Oran, Alger, Blida, Adrar, etc (Loukil 2017 ; Kaki et Mimouni 2018 et Messaoud, 2019).

III. 4. Caractéristiques morphologiques du *Moringa oleifera* Lam.

❖ Arbre

Le Moringa est un arbre pérenne, à croissance rapide, qui peut atteindre une hauteur de 7 à 12 mètres. Il a une couronne ouverte et tombante, des branches fragiles et un feuillage plumeux, son écorce épaisse, liégeuse et blanchâtre (Foidl *et al.*, 2001; Louni, 2009).



❖ Tronc

Le tronc est généralement droit, mesure 20 à 40cm de diamètre. Il atteint 1,5 à 2 mètres de haut avant de se ramifier, bien qu'il puisse parfois atteindre les 3 mètres (Foidl *et al.*, 2001). Le tronc est couvert d'une écorce lisse, grise à brunâtre, grossièrement lenticelle, à tranche verte en surface et jaunâtre en dessous, exsudant une gomme blanche et opaque qui rougit en surface (Eyog Matig *et al.*, 2006). Son bois tendre et mou ne supporte pas les vents agressifs (Rosa, 1993).

Figure 7: Arbre du *Moringa oleifera* Lam. (Niko, 2014)

❖ Branches

Les branches poussent de manière désorganisée et la canopée est en forme de parasol (Latla et oulad laid ,2020).

❖ Les racines

Le système racinaire est de structure tubulaire, il est formé d'un pivot central qui peut s'enfoncer dans le sol jusqu'à 1,30 m de profondeur lui offrant ainsi une grande résistance à la sécheresse (Rosa, 1993).



Figure 8: Racines de *Moringa* (Hamad, 2022).

❖ **Les feuilles**

Les feuilles sont tripennées de 30 à 70 cm de long. Les folioles sont ovées ou obovées (Besse, 1996). Les feuilles comptent 2 à 6 paires de pinnules comprenant chacune 2 à 5 paires de pinnules secondaires, divisées elles-mêmes en 1 à 2 paires de foliolules plus une foliole terminale plus grande que les autres (Mémento, 2002)

Figure 9: Feuilles de *Moringa* (Hamad,2020)❖ **Les fleurs**

Le Moringa est considéré comme une plante ornementale à cause de sa floraison exubérante. Ses fleurs (Figure 10) mesurent 2,5 cm de large et se présentent sous forme de panicules axillaires de 10 à 25 cm. Elles sont blanches ou couleur crème, avec des points jaunes à la base et dégagent une odeur agréable (Foidl *et al.*, 2001).

Figure 10: fleurs de *Moringa* (Sivanesan *et al.*, 2010)❖ **Les fruits**

Les fruits sont en forme de gousses à trois valves allongées, déhiscentes et mesurant 20 à 60 cm de long (Figure 11). Les gousses sont situées au sommet des branches et renferment chacune environ 12 à 35 graines (Foidl *et al.*, 2001).



Figure 11: fruits du Moringa (boutique végétale, 2022)

❖ **Les graines**

Les graines sont arrondies, ailées, avec une coque marron semi-perméable. Le poids moyen d'une graine est de 0,3g dont 25% sont représentés par la coque. La production annuelle par arbre est de 15 000 à 25 000 graines (Makkar et Becker, 1997).

Figure 12: Graines de *Moringa* (Isabelle, 2019 ; Hamad, 2022)

III. 5. Exigences de la culture du *Moringa oleifera* Lam.

- **Eau** : le Moringa s'adapte à des précipitations annuelles de 250 à 1 500 mm (Price, 1985 ; ECHO, 2007). Il pousserait mieux dans les régions ayant une pluviométrie annuelle comprise entre 800 à 1200mm. Le Moringa est assez tolérant à la sécheresse. Il peut supporter 6 mois de sécheresse. En cas de sécheresse sévère et prolongée, le Moringa perd ses feuilles (Séverin, 2002).
- **Température** : généralement, le Moringa pousse le mieux dans les régions tropicales chaudes et semi-arides. L'amplitude de température idéale du Moringa est de 25 à 35°C, mais il peut tolérer des températures jusqu'à 48°C pendant de courtes périodes de temps (Price, 1985 ; ECHO, 2007).
- **Sol** : le moringa préfère les sols légers, frais et qui ne retiennent pas l'eau. Il pousserait bien également dans les sols rocailleux et des terres légèrement salées (Séverin, 2002). En effet, le Moringa préfère les sols sablonneux ou limoneux bien drainés. Il tolère les sols argileux mais pas l'engorgement du sol.

III. 6. Intérêts du *Moringa oleifera* Lam.

Moringa oleifera est considéré comme l'un des arbres les plus utiles au monde, car toutes les parties végétales du Moringa sont traditionnellement utilisées dans plusieurs domaines : médicinale, nutritionnelle et environnementale ainsi qu'industrielle, mais les feuilles sont généralement les plus utilisées (Popoola et Obembe, 2013 ; Sivasankari *et al.*, 2014 ; Khalafalla *et al.*, 2010)

III. 6.1. Nutritionnel ou alimentaire

Moringa oleifera est considéré comme la plante la plus nutritive connue pour l'homme. Il contient presque tous les éléments nutritifs nécessaires à la vie, grâce à la présence d'une variété de composés phytochimiques essentiels présents dans ses feuilles, gousses et graines. *Moringa oleifera* est considéré comme un extraordinaire aliment, dont toutes les parties de l'arbre sont comestibles et sont consommées comme légumes depuis longtemps par l'homme (Prabhu *et al.*, 2011).

La comparaison des feuilles de Moringa avec d'autres produits consommables montre que 100g de feuilles fraîches de *Moringa oleifera* offre autant de calcium qu'un grand verre de lait, autant de fer que 200 g de steak de bœuf, autant de vitamine A que deux carottes et autant de vitamine C qu'une orange. 100 g de feuilles fraîches de *Moringa oleifera* suffisent pour couvrir de 10 à 50 % de l'apport quotidien recommandé en protéines, de 30 à 100 % de l'apport quotidien recommandé en calcium et de 25 à 80 % de l'apport quotidien recommandé en fer. De la même façon, pour les vitamines, 100 g de feuilles fraîches de *Moringa oleifera* pourraient théoriquement couvrir 100 %

des besoins en vitamine A et C, mais cela dépend beaucoup des conditions de conservation et de l'utilisation des feuilles, car les vitamines sont détruites avec le temps, après la récolte et pendant la cuisson⁴⁵ » (Saint-Sauveur *et al.*, 2015).

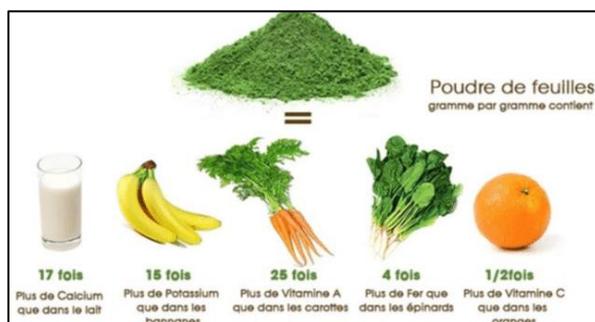


Figure 13: équivalent en nutriments pour un même poids de poudre de feuilles de *Moringa* (Saint-Sauveur *et al.*, 2015).

III. 6.2. Médicinal

Moringa oleifera communément appelée « Never die » en anglais, est une plante très riche en nutriments, dotée de propriétés médicinales exceptionnelles et largement utilisée dans plusieurs domaines de la santé ; Cette plante possède une gamme très variée d'utilisations médicales avec une valeur nutritionnelle élevée et, est connue pour son énorme potentiel thérapeutique de plus de 300 maladies. De nombreuses études scientifiques ont rapporté ses propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires, antioxydantes, antiulcéreuses, antidiabétiques et anticancéreuses. Les feuilles de *Moringa oleifera*, très riches en molécules bioactives telles que les composés poly-phénoliques, les flavonoïdes, les protéines, les bêta-carotènes ; en sel minéraux tels que le calcium et le potassium et en vitamines, sont utilisées pour la prévention de nombreuses pathologies. Des propriétés antioxydantes des feuilles de *Moringa oleifera* pour la prévention de certaines maladies chroniques telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires entre autres ont été largement rapportées dans la littérature. L'huile extraite des graines a été utilisée comme parfum et crème pour la peau (FAYE *et al* 2024).



Figure 14: Utilisation du *Moringa* en médecine traditionnelle. (Saint-Sauveur et al., 2015).

III. 6.4. Agronomique

La variété de molécules trouvées dans les espèces de *M. Oleifera*, principalement des composés phytochimiques peut être utilisé comme pulvérisation foliaire (Dhakad *et al.*, 2019) ou bien comme engrais dans les plantations (Granellaa *et al.*, 2021) pour augmenter le rendement des cultures en agissant comme un stimulant distinctif du développement des plantes (Dhakad *et al.*, 2019), accélérant les processus photosynthétiques et biochimiques, soulageant le stress (Milla *et al.*, 2021) et résiste aux insectes nuisibles.

III. 6.5. Purification de l'eau

La contamination des sols et de l'eau par des produits chimiques nocifs, suite à la progression de l'industrialisation et de l'urbanisation se pose un problème majeur dans le monde entier et ce problème menace la vie de tous les êtres vivants y compris l'Homme. Les graines de Moringa en poudre contiennent des polyélectrolytes cationiques qui agissent comme un flocculant naturel pour clarifier même les eaux les plus troubles. La poudre de graines peut également éliminer 90 à 99 % des bactéries contenues dans l'eau (Price, 2007, Mahmood *et al.*, 2010). La purification de l'eau commence par flocculation, sédimentation, antibiose et peut même réduire la concentration de Schistosomes cercaires (trématode parasitaire responsable de la maladie de bilharziose). A cet effet, Moringa peut remplacer l'usage des épuratifs chimiques comme le sulfate d'aluminium, dangereux pour les être vivant et l'environnement (Koul, 2015).

Partie expérimentale

Chapitre I

Matériels et méthodes

I.1. Objectif de l'étude

L'objectif de ce travail est l'étude de l'effet du chlorure de sodium (NaCl) sur les paramètres de germination (le taux de germination, longueur des radicules et des tigelles) des graines de *Moringa oleifera* Lam., et les paramètres anatomiques, de cette plante.

I.2. Matériel végétal utilisé

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est les graines de *Moringa oleifera* Lam, qui fait partie de la famille de Moringaceae. Le choix de cette espèce se justifie par sa résistance moyenne à la salinité, et sa rapidité de croissance.

➤ Origine et provenance des graines

Les graines de *Moringa oleifera* Lam., utilisées dans cette étude proviennent d'Oued Alleug wilaya de Blida, récoltées à la fin de la période de la fructification. Les arbres de Moringa issus des graines d'origine de Sénégal, poussant dans des conditions naturelles.



Figure 15: Graines de Moringa

I.3. Déroulement de l'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée au niveau de laboratoire pédagogique de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Relizane.

I.3.1. Préparation des boîtes de Pétri

Les boîtes de Pétri utilisées pour cette étude sont des boîtes en plastique, stériles d'un diamètre de 9 cm et d'une épaisseur de 1 cm, tapissées deux couches de papier filtre.

I.3.2. Préparation des solutions salines

La solution stressante est préparée en dissolvant du chlorure de sodium (NaCl) dans de l'eau distillée à trois concentrations différentes : 25, 50 et 100 mM. Une solution témoin, constituée uniquement d'eau distillée (0 mM). Pour un stress salin de 100 mM, 5,84 g de NaCl ont été ajoutés à 1 litre d'eau.

I.3.3. Préparation des grains de *Moringa oleifera* Lam. pour la germination

Les graines ont été triées en fonction de leur couleur (la couleur marronne étant un signe de maturation) et de leur taille (grandes graines), afin de sélectionner des graines matures et de garantir un bon potentiel de germination. Après le tri, les graines ont été réparties en deux groupes : graines décortiquées (GD) et graines non décortiquées (GND), dans le but d'évaluer l'effet des téguments sur le processus de germination.

Les deux types de graines (GD et GND) ont été lavés avec de l'eau distillée pendant 2 minutes, puis désinfectés avec de l'hypochlorite de sodium (10 %) pendant 5 minutes afin d'éliminer tout agent pathogène (champignons, bactéries, etc.). Elles ont ensuite été abondamment rincées à l'eau distillée pour éliminer les résidus de chlore et assurer des conditions aseptiques pendant la germination.

Les graines désinfectées (GD et GND) ont été trempées dans de l'eau distillée pendant 24h, pour faciliter leur germination. Puis, elles ont été mises à germer dans les boîtes de pétri à raison cinq graines par boîte et quatre répétitions par doses. Chaque boîte de Pétri a été arrosée avec 10 ml d'eau distillée stérile (0mM) pour les graines témoins, et le même volume pour les différentes concentrations de NaCl (25, 50 et 100 mM) pour les graines stressées. Ensuite, les boîtes de Pétri ont été placées à l'obscurité dans une étuve à une température de 27 ± 1 °C et surveillées toutes les 24h pendant 15 jours.

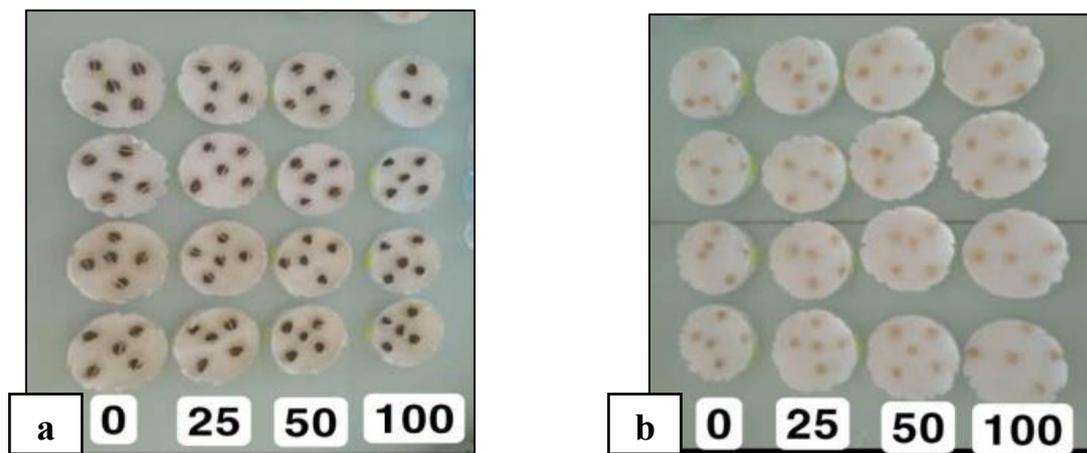


Figure 16: Grains de *Moringa oleifera* Lam. (a : GND, b : GD) mise à germe I.4. Paramètres étudiés

I.4.1. Paramètres de germination

I.4.1.1. Taux de germination final

Ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration qui présente la limite physiologique de germination des graines. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines (Côme, 1970).

$$TG\% = \frac{\text{Nombre total des graines germées}}{\text{Nombre total de graines mises à germe}} * 100$$

I.4.1.2. Cinétique de germination

La cinétique de germination correspond aux variations, au cours du temps, du taux de germination des graines de la plante testée. Elle est représentée graphiquement par le pourcentage de germination en fonction du temps, offrant ainsi une vision précise de l'évolution de la germination dans des conditions contrôlées. Elle s'exprime par le nombre de graines germées, compté quotidiennement, du premier jour jusqu'au 15^e jour de l'expérience (Hadjlaoui *et al.*, 2007).

I.4.1.3. Longueur de la tigelle et longueur de la radicule

La longueur de la tigelle et de la radicule de moringa, est mesurée à l'aide du papier millimétré toutes les 24h à partir du 6^{ème} jour de la germination jusqu'à le 15^{ème} jour, pour évaluer la croissance de la plante vis-à-vis au stress. Elle est exprimée par la moyenne de la longueur mesurée des cinq graines par boîte pour chaque répétition et par traitement.

I.4.1.3. Nombre des feuilles

Le nombre de feuilles a été relevé quotidiennement à partir de l'apparition des deux premières feuilles jusqu'au dernier jour de l'essai (15^{ème} jour). Les résultats indiquent les moyennes de nombre des feuilles pour cinq graines par boîte et par répétition et pour chaque dose.

I.4.2. Paramètre anatomique

Cette étude vise à analyser les modifications au niveau des parois cellulaires cellulosiques et lignifiées des tigelles et des radicules de Moringa, soumises à un stress salin.

À la fin de l'expérimentation, au quinzième jour, des coupes transversales des tigelles et des radicules de Moringa, traitées avec quatre concentrations de NaCl (0, 25, 50 et 100 mM), ont été réalisées à main levée à l'aide d'une lame de rasoir. Les coupes obtenues ont ensuite été colorées selon la technique de double coloration de Mirande (carmin et vert d'iode ou bien vert de méthyle et rouge Congo), conformément à la méthode décrite par Marche-Marohad (1965).

L'observation microscopique a été effectuée à l'aide d'un microscope optique connecté à un ordinateur portable, avec des grossissements de 10× et 40×. Les images ont été prises à l'aide du logiciel **Optika Pro View**, au sein du laboratoire *Protection, valorisation des ressources marines littorales et systématique moléculaire*, à l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.

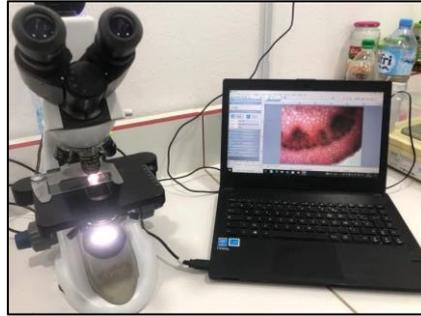


Figure 17: Microscope optique utilisé pour l'observation des coupes anatomiques au laboratoire.

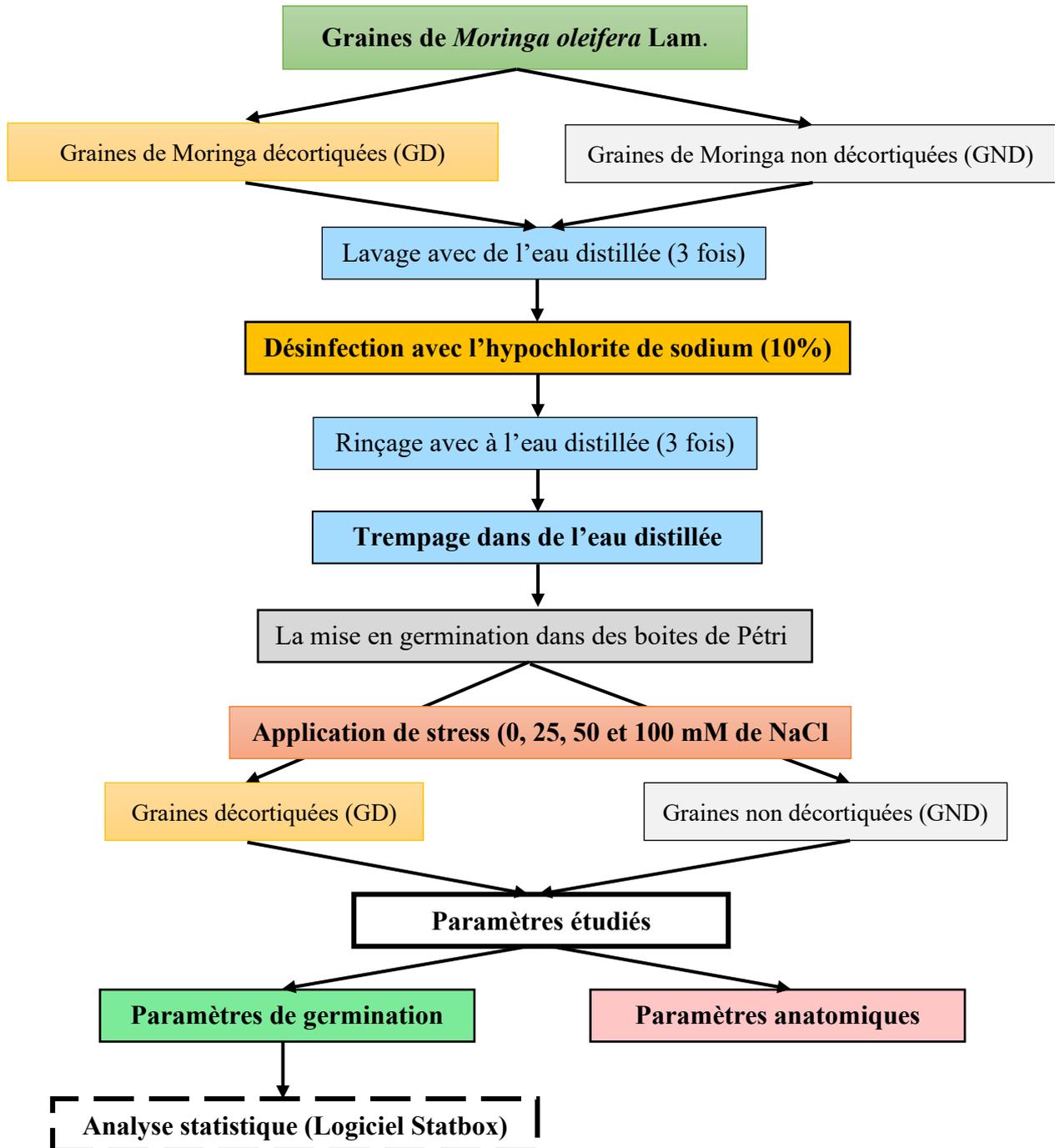


Figure 18: Organigramme montrant le protocole expérimental de la germination des graines du *Moringa oleifera* Lam.

I.5. Analyse des données

Les données obtenues sont soumises à une analyse statistique à l'aide du logiciel Statbox. Version 6.4, dont. L'analyse de variance ANOVA à un facteur est réalisée selon le test de Fischer, dont le seuil de probabilité est 5 %, pour examiner l'effet du stress salin sur les paramètres de la germination de moringa. Une valeur de Probabilité (p) de 0,05 a été considérée comme statistiquement significative alors qu'une valeur de (p) inférieure à 0,05 a été considérée comme hautement significative, et une valeur (p) supérieur à 0,05 a été considérée comme non significative.

Chapitre II

Résultats et discussion

II.1. Résultats

II.1.1. Paramètres de germination

II.1.1.1. Effet de NaCl sur le taux de germination final des graines non décortiquées (GND)

Les résultats obtenus montrent que le taux de germination final est resté stable pour toutes les graines non décortiquées de *Moringa*, traitées avec les différentes concentrations de NaCl (25,50 et 100 mM) ou non traitées (0mM), dont les valeurs enregistrées sont 95% avec toutes les doses.

L'analyse statistique indique que l'effet du chlorure de sodium sur le taux de germination des graines non décortiquées n'est pas significatif, avec une probabilité (**p**) de **0,95**.

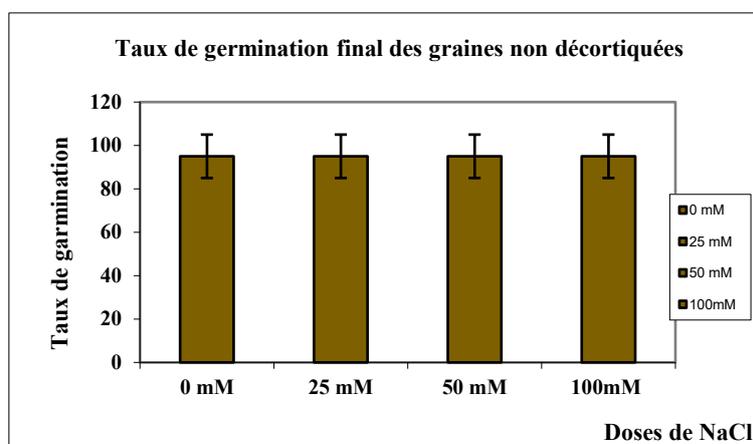


Figure 19: Effet du NaCl sur le taux de germination final des graines non décortiquées.

II.1.1.2. Effet du NaCl sur le taux de germination final des graines décortiquées

Les résultats montrent que le taux de germination des graines décortiquées de *Moringa* traitées avec 25 et 50 mM de NaCl est de 100%. En revanche, les graines témoins et celles traitées avec 100 mM de NaCl présentent un taux de germination final de 95 %.

L'étude statistique de l'effet du chlorure de sodium sur le taux de germination des graines décortiquées révèle une différence non significative (**p = 0,59**).

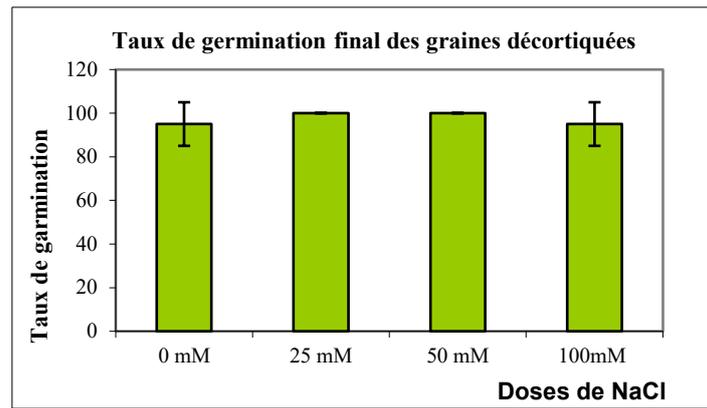


Figure 20: Effet du NaCl sur le taux de germination final des graines décortiquées

II.1.1.3. Effet du NaCl sur la cinétique de germination des graines non décortiquées du *Moringa*

Les draines non décortiquées du *Moringa* commencent à germer à partir du 3^{ème} jour, avec un taux de germination de 10% pour les graines témoins (0 mM de NaCl) et 5% pour celles traitées avec 25 mM de NaCl. La germination s'achève au 7^{ème} jour, atteignant un taux de 95 % pour les deux graines traitées avec 0 et 25 mM du NaCl.

En revanche, pour les graines traitées avec 50 et 100 mM, la germination débute au 4^{ème} jour avec un taux de 45% pour les graines traitées avec 50 mM de NaCl et 25% pour les graines traitées avec 100 mM de NaCl. La germination de ces graines évolue lentement jour pour jour pour atteindre un taux final de germination de 95% au 7^{ème} après la mise en germination. On note par la suite que le taux de germination reste constant jusqu'au quinzième jour.

L'analyse statistique montre que le NaCl n'a aucun effet significatif sur la cinétique de germination des graines non décortiquées de *Moringa oleifera*, avec **une probabilité de 0,95** ($p > 0,05$).

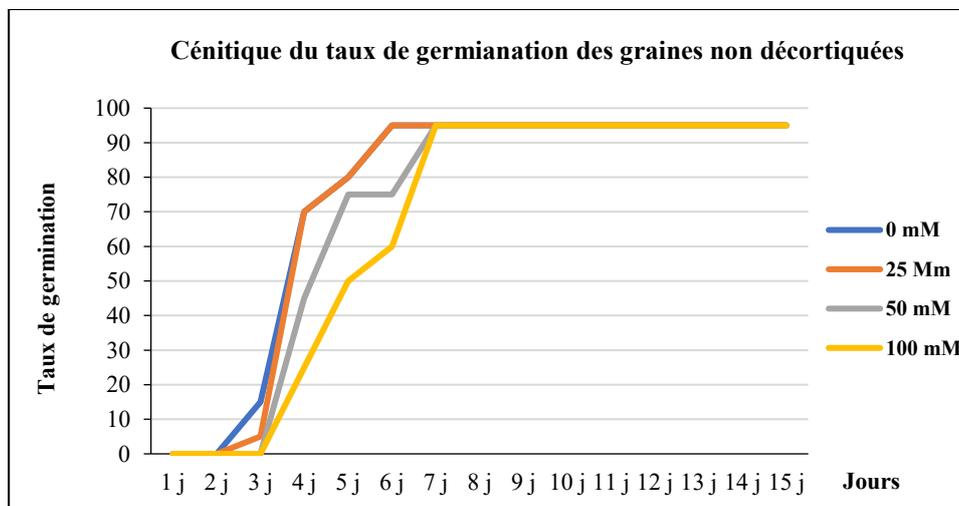


Figure 21: Effet du NaCl sur la cinétique de germination des graines non décortiquées du *Moringa*.

II.1.1.4. Effet du NaCl sur la cinétique de germination des graines décortiquées du *Moringa*

Les graines décortiquées du *Moringa Oleifera* Lam., n'ont commencé à germer qu'après 03 jours d'incubation à l'étuve à 27°C, avec des taux de germination de 75, 50, 25 et 5% pour les graines traitées avec 0, 25, 50 et 100 mM de NaCl. La germination atteint un taux final de 95% au 4^{ème} jour pour les graines témoins (0mM de NaCl).

Alors que, la germination se poursuit lentement jusqu'au 6^{ème} jour, en atteignant des taux maximaux de 100 % pour graines traitées avec 25 et 50 mM de NaCl et 95% pour celles traitées avec 100%. Ces taux demeurent constants jusqu'au quinzième jour.

L'analyse statistique révèle que le NaCl n'a aucun effet significatif sur la cinétique de germination des graines décortiquées du *Moringa Oleifera* Lam, avec une probabilité de ($p = 0,59 > 0,05$).

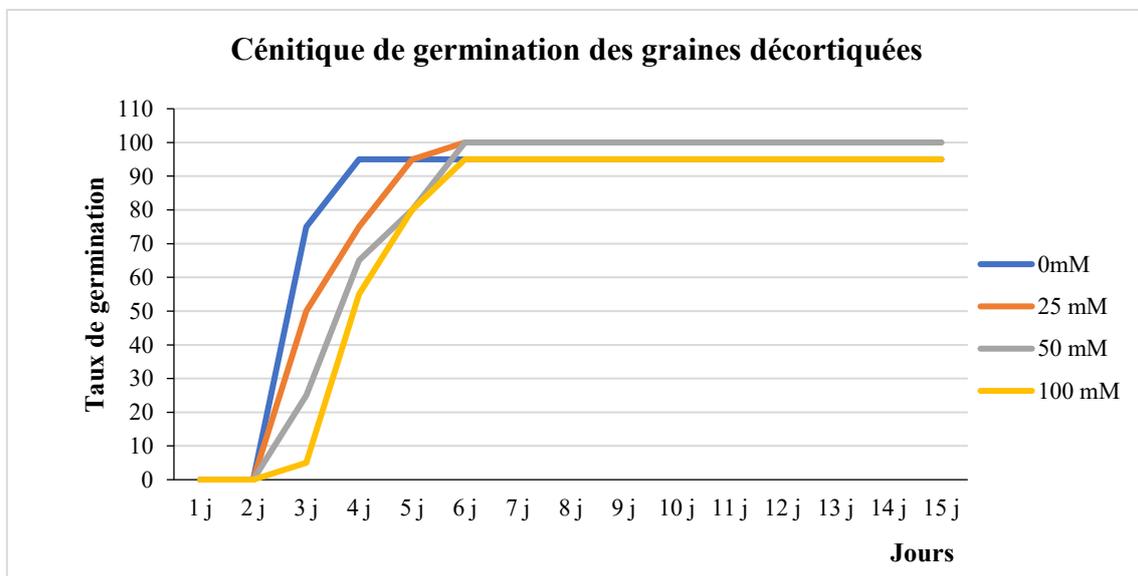


Figure 22: Effet du NaCl sur la cinétique de germination des graines décortiquées du *Moringa*.

II.1.1.5. Effet du NaCl sur la longueur des racinelles des graines non décortiquées du *Moringa*

Les résultats obtenus montrent une diminution progressive de la longueur des racinelles des plantules issues des graines non décortiquées de *Moringa oleifera* en fonction de l'augmentation des concentrations en NaCl dans le milieu de vie de cette dernière. La croissance des racinelles débute dès le 4^{ème} jour pour les témoins (0 mM) et les graines traitées à 25 mM, tandis qu'elle est retardée à partir du 6^{ème} jour pour les doses plus élevées (50 et 100 mM).

Les longueurs maximales enregistrées au 13^{ème} jour sont respectivement de 6,13 cm pour les témoins (0 mM de NaCl), 5,80 cm pour les plantules exposées à 25 mM, 3,50 cm à 50 mM, et seulement 1,73 cm à 100 mM de NaCl. L'allongement des racinelles tend à se stabiliser à partir du 13^{ème} jour, quelle que soit la concentration en sel.

L'analyse statistique par ANOVA révèle un effet hautement significatif ($p=0$, $p < 0,001$) du stress salin sur la croissance racinaire des graines non décortiquées de *Moringa*.

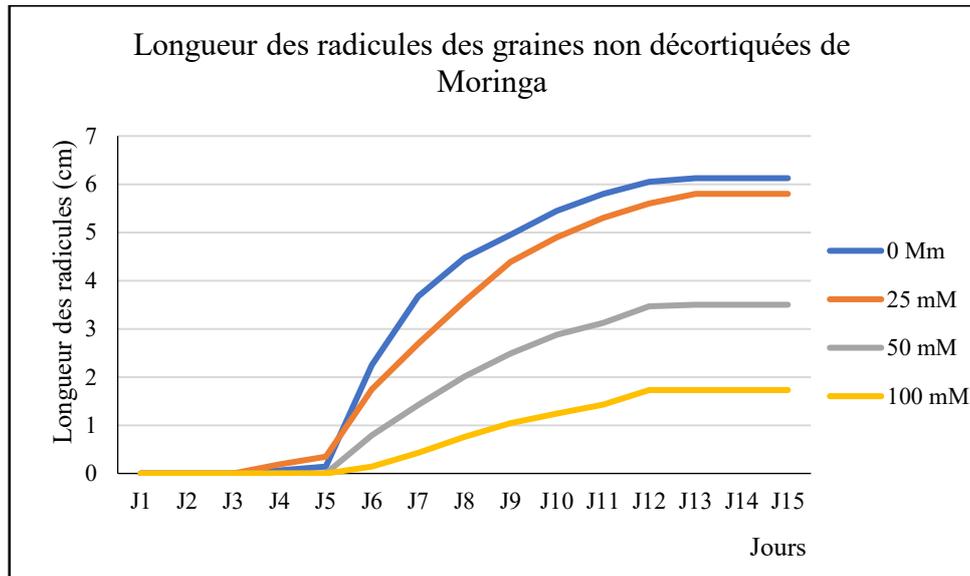


Figure 23: Effet du NaCl sur la longueur des racelles des graines non décortiquées du *Moringa*.

II.1.1.6. Effet du NaCl sur la longueur des racelles des graines décortiquées du *Moringa*

Les résultats obtenus montrent que les racelles des graines témoins (0 mM de NaCl) ainsi que celles traitées avec 25 mM de NaCl commencent à croître à partir du 4^{ème} jour. En revanche, pour les graines soumises aux concentrations plus élevées (50 et 100 mM de NaCl), la croissance des racelles ne débute qu'au 5^{ème} jour.

L'allongement des racelles se poursuit jusqu'au 12^e jour pour l'ensemble des traitements, atteignant des longueurs maximales de 9,4 cm (0 mM), 7,8 cm (25 mM), 5,2 cm (50 mM) et 1,3 cm (100 mM). À partir du 13^e jour, la croissance des racelles se stabilise pour toutes les graines.

Les données révèlent une diminution nette de la longueur des racelles avec l'augmentation des concentrations en NaCl. La plus grande longueur est enregistrée chez les plantules témoins (0 mM), tandis que les longueurs diminuent de manière progressive à mesure que la salinité augmente.

Les données révèlent une diminution de la longueur des racelles du *Moringa Oleifera* Lam. au fur et à mesure que la dose du NaCl appliquée augmente. Les longueurs maximales ont été enregistrées chez les plantules témoins (0 mM de NaCl), tandis que les longueurs diminuent de manière progressive à mesure que la salinité augmente.

L'analyse statistique révèle que les traitements de la salinité ont un effet très significatif ($p=0$; $p<0,01\%$) sur la croissance en longueur des racelles de *Moringa*.

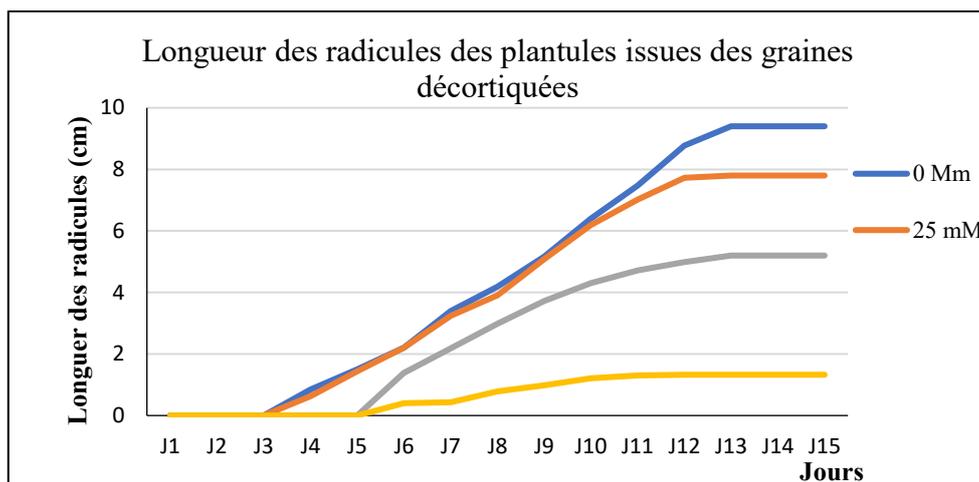


Figure 24: Effet du NaCl sur la longueur des racicules des graines décortiquées du *Moringa*

II.1.1.7. Effet du NaCl sur la longueur des tigelles des graines non décortiquées du *Moringa*

Les résultats reportés dans la figure (25) montrent que l'application du stress de NaCl dans le milieu de culture des graines non décortiquées du *Moringa* provoque une réduction de la longueur des tigelles de cette dernière, et cette réduction augmente avec l'augmentation des doses appliquées. La réduction de croissance des tigelles de GND est plus importante à la dose 100 mM de NaCl comparativement aux autres doses (0, 25 et 50 mM de NaCl), où on a enregistré au dixième jour les longueurs suivantes : 17.7, 13.7, 7.85 et 1.24 cm respectivement avec les doses 0, 25, 50 et 100 mM de NaCl.

L'allongement des tigelles se poursuit jusqu'au onzième jour pour se stabiliser au douzième jour pour l'ensemble des traitements de NaCl.

L'analyse de variance de l'effet de la salinité sur la longueur des tigelles du *Moringa* issues des graines non décortiquées (GD) est hautement significatif ($p = 0$).

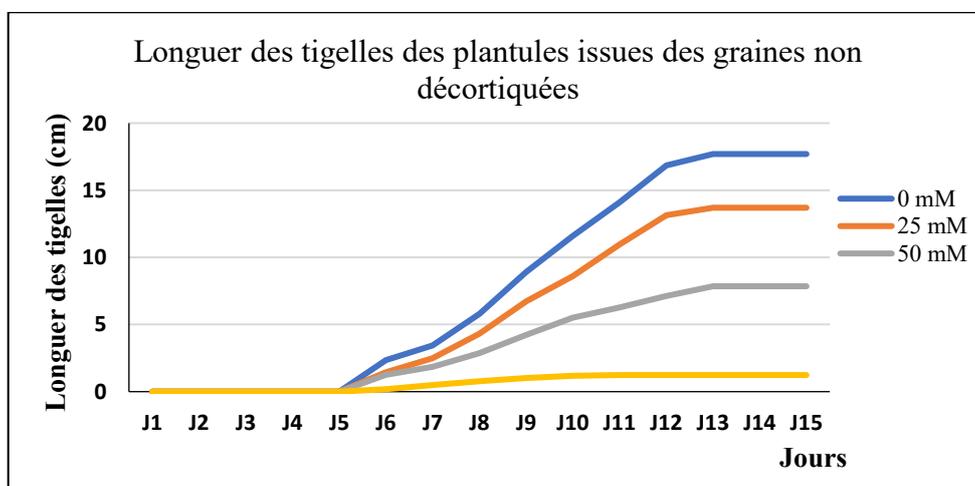


Figure 25: Effet du NaCl sur la longueur des tigelles des graines non décortiquées du *Moringa*

II.1.1.8. Effet du NaCl sur la longueur des tigelles des graines décortiquées du Moringa

Les résultats révèlent que la longueur des tigelles des plantules issues des graines décortiquées (*GD*) diminue significativement avec l'augmentation de la concentration en NaCl dans le milieu de culture, comparativement aux témoins. Cette réduction est beaucoup plus importante pour être presque inhibée à la dose 100 mM de NaCl, avec une valeur de 1,59 cm comparativement aux autres doses appliquées 25 et 50 mM où les valeurs enregistrées sont 15,4 et 6,03 cm respectivement avec les doses. La valeur la plus élevée est de 20 cm observé chez les plantules témoins (0mM de NaCl). Les longueurs des radicules tendent à se stabiliser autour du 13^{ème} jour, quelle que soit la concentration.

Les résultats obtenus montrent que la longueur des tigelles des plantules issues des graines décortiquées de *Moringa oleifera* diminue significativement avec l'augmentation de la concentration en NaCl dans le milieu de culture, comparativement au témoin. Cette réduction est d'autant plus marquée que la salinité est élevée, au point d'être presque totalement inhibée à la concentration de 100 mM, où une longueur maximale de seulement 1,59 cm a été enregistrée. À des concentrations intermédiaires de 25 mM et 50 mM, les longueurs finales atteignent respectivement 15,4 cm et 6,03 cm. La croissance maximale des tigelles a été observée chez les plantules témoins (0 mM de NaCl), avec une longueur finale de 19,95 cm, atteinte au 13^e jour, après quoi la croissance s'est stabilisée.

L'analyse de la variance (ANOVA) montre un effet hautement significatif de la salinité sur la croissance des radicules des graines décortiquées, avec une probabilité de $p = 0,000$ ($p < 0,001$).

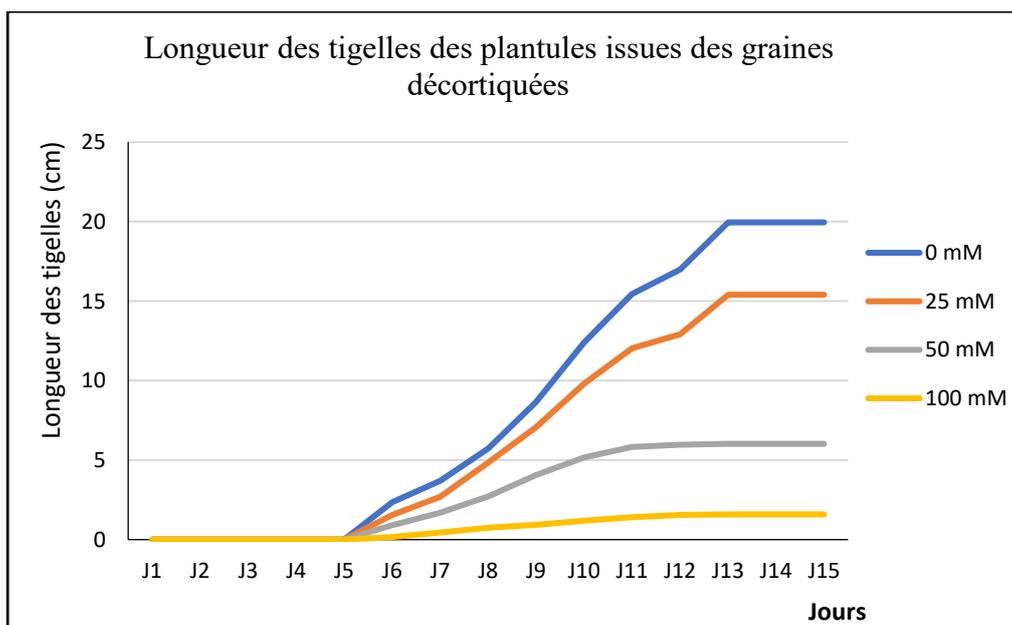


Figure 26: Effet du NaCl sur la longueur des tigelles des graines décortiquées du *Moringa*.

II.1.1.9. Effet du NaCl sur le nombre des feuilles des graines non décortiquées du *Moringa*.

Les résultats (Figure 23) indiquent une diminution du nombre des feuilles des plantules issues des graines non décortiquées du *Moringa* avec l'augmentation des doses de NaCl appliquées. En absence de NaCl (0 mM de NaCl), le nombre de feuilles enregistré chez les plantules témoins est maximal, avec une moyenne de 11,7 feuilles.

Cependant, à la dose 25 et la dose 50 mM de NaCl, les moyennes de nombres des feuilles observés sont de 8,7 et 3,6 respectivement avec les doses.

Alors qu'au niveau de la dose maximale de NaCl, et en absence des tigelles, le nombre des feuilles enregistré est égal à 0 (Absence totale des feuilles).

L'analyse statistique montre que l'effet du chlorure de sodium sur le nombre des feuilles des graines décortiquées est hautement significatif ($P=0$).

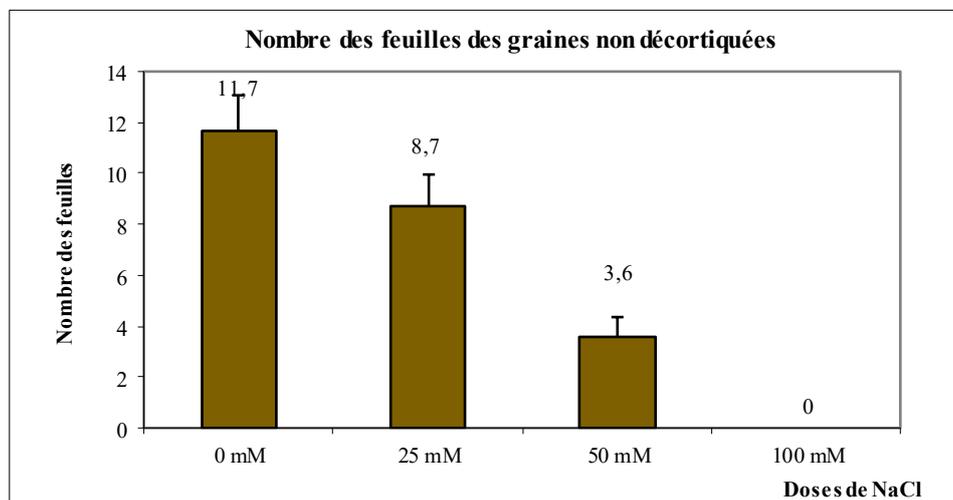


Figure 27: Effet du NaCl sur le nombre des feuilles des GND du *Moringa Oeifera* Lam

II.1.1.10. Effet du NaCl sur le nombre des feuilles des graines décortiquées du *Moringa*

Les résultats obtenus montrent que le nombre des feuilles des plantules issues des graines décortiquées de *Moringa* diminue au fur et à mesure que les concentrations de NaCl augmentent. Le nombre des feuilles le plus élevé a été enregistré chez les graines témoins (0 mM de NaCl) avec une moyenne de 12,4 feuilles.

Cependant, les valeurs les plus faibles de nombres des feuilles ont été observées chez les plantules issues des graines traitées avec 25 et 50 mM de NaCl avec des moyennes de 8,3 et 2,9 respectivement avec les doses.

En revanche, la concentration de 100 mM de NaCl, on observe une absence totale de feuilles, due à la présence des tigelles non développées.

L'étude statistique révèle un effet hautement significatif du chlorure de sodium sur le nombre des feuilles des plantules issues des graines décortiquées est, avec une probabilité qui est égal de 0 ($p < 0,001$).

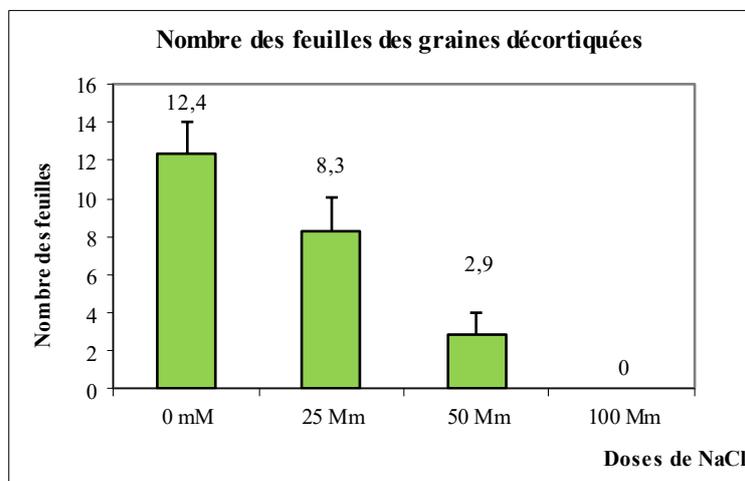


Figure 28: Effet du NaCl sur le nombre des feuilles des GD du *Moringa oleifera* Lam.

II.1.2. Paramètres anatomiques

II.1.2.1. Effet du NaCl sur l'anatomie des radicules des graines des graines décortiquées et non décortiquées de *Moringa*

L'étude anatomique des radicules de *Moringa oleifera* issues des graines décortiquées (GD) et non décortiquées (GND) révèle des altérations structurales importantes sous l'effet du stress salin induit par le chlorure de sodium (NaCl). En comparaison avec les coupes transversales typiques observées chez les témoins (0 mM de NaCl), les traitements à 25, 50 mM de NaCl ont entraîné une réduction significative du nombre et du diamètre des vaisseaux du xylème, ainsi que des trachéides et du mésophylle cortical.

Par ailleurs, l'augmentation des concentrations en NaCl a provoqué une diminution progressive des espaces intercellulaires au niveau du cortex, suggérant un rétrécissement du tissu cortical. Ces modifications sont particulièrement marquées à partir de 50 mM de NaCl, où les altérations deviennent nettement visibles.

À la concentration maximale de 100 mM, la croissance des radicules étant fortement inhibée, il n'a pas été possible d'obtenir des coupes anatomiques exploitables. Morphologiquement, les radicules étaient extrêmement réduites en taille et en longueur, et les poils absorbants étaient absents ou très peu développés, traduisant un état de stress extrême.

En comparant les deux types de graines, les graines décortiquées présentent des réponses anatomiques plus prononcées. Le retrait du tégument externe expose directement l'embryon aux effets du NaCl, ce qui pourrait expliquer une sensibilité initiale accrue au stress salin, même sous des concentrations modérées.

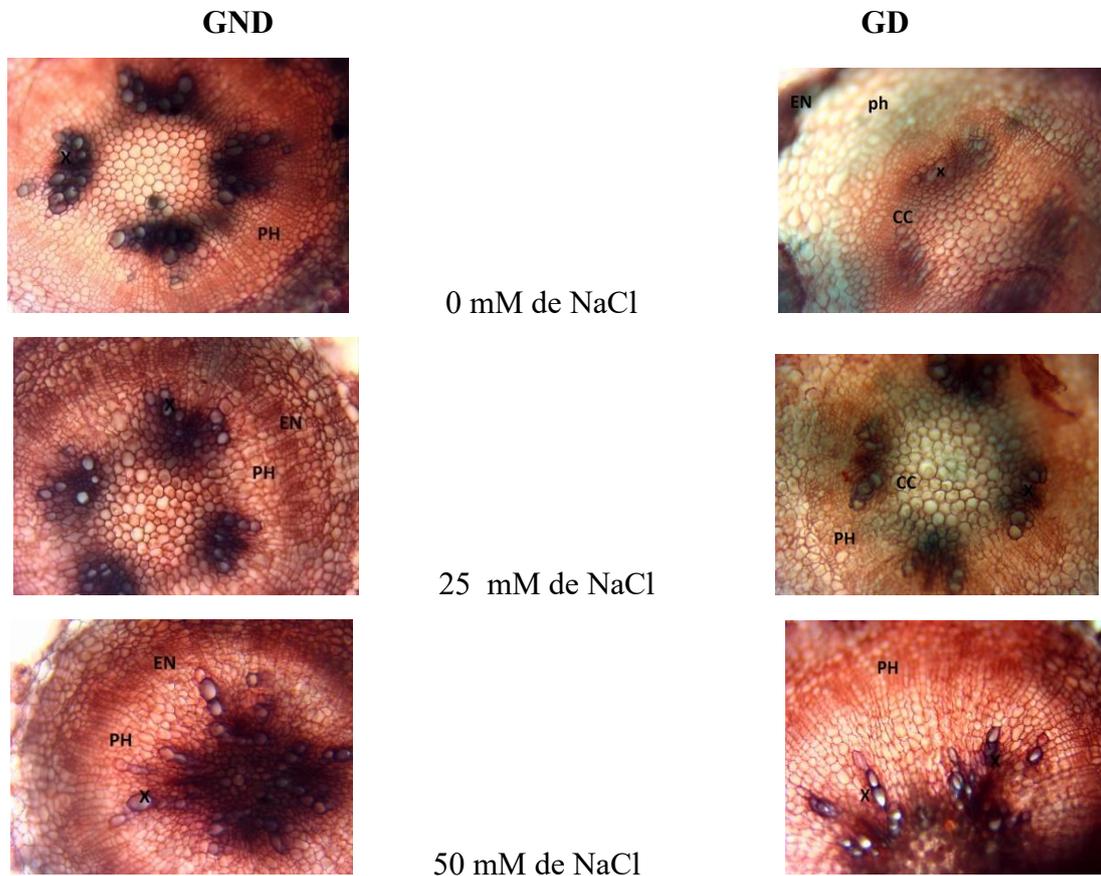


Figure 29: Coupes transversales au niveau des racines des graines *Moringa oleifera* Lam. stressées par le NaCl (Gro $\times 10$).

E : Epiderme OU rhizoderme, PC : Parenchyme cortical, C : cortex, EN : Endoderme, Ph : Phloème, X : xylème, CC : cylindre central

II.1.2.3. Effet du NaCl sur l'anatomie de la tigelle des graines décortiquées et non décortiquées de *Moringa*

L'observation microscopique des coupes transversales (figure 29) de la tigelle de *Moringa oleifera*, issues des graines non décortiquées (GND) et décortiquées (GD), révèle d'importantes altérations anatomiques sous l'effet du stress salin. Ces modifications concernent principalement la structure et l'organisation des tissus de la tigelle chez les plantules exposées à différentes concentrations de NaCl (25, 50 et 100 mM), comparativement au témoin (0 mM).

L'une des altérations les plus marquantes est la réduction du diamètre de la tige des plantes stressées au NaCl est l'une des principales altérations observées, en raison de la diminution de l'épaisseur de l'écorce et du cylindre central particulièrement chez les plantes traitées avec 50 et 100 mM de NaCl.

On observe également une diminution de tissus du cortex et de sclérenchyme ainsi une réduction du nombre et de dimensions des vaisseaux du xylème, en particulier le diamètre du métaxylème chez les plantes traitées à partir de 25 mM de NaCl. Contrairement au xylème, le tissu du phloème est apparu étendu et désorganisé chez les plantes stressées avec les doses croissantes du NaCl comparativement aux plantes témoins.

Par ailleurs, les plantules issues des graines décortiquées (GD) présentent des modifications anatomiques plus accentuées que celles issues des graines non décortiquées (GND), suggérant une sensibilité accrue due à l'absence de protection naturelle contre le stress salin.

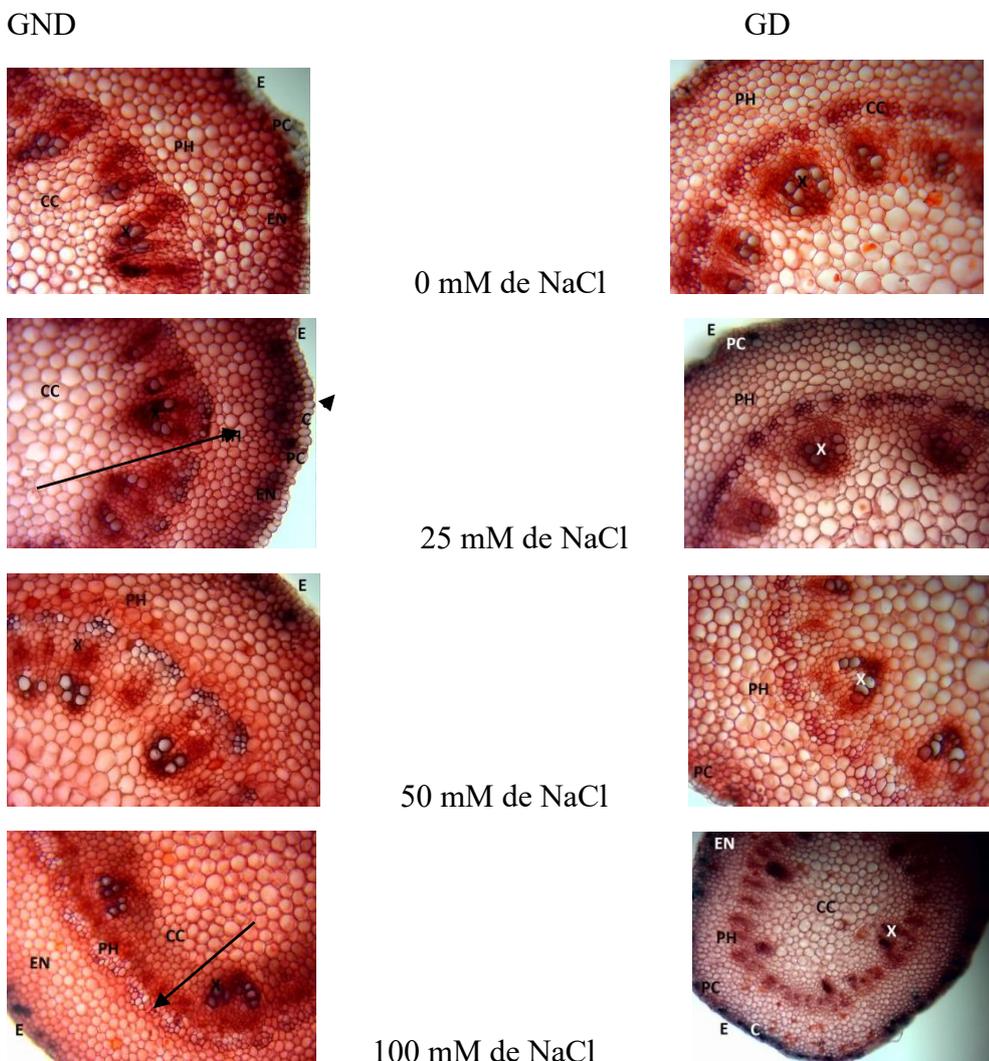


Figure 30: Coupes transversales au niveau des tiges graines (GND et GD) de *Moringa oleifera* Lam. stressées au NaCl (Gro $\times 10$)

II.2. Discussion générale

II.2.1. Effet du NaCl sur la germination du *Moringa oleifera* Lam.

II.2.1.1. Effet du NaCl sur le taux de germination du Moringa

L'analyse de l'effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la germination des graines décortiquées (GD) et non décortiquées (GND) de *Moringa oleifera* révèle que le stress salin n'a pas significativement affecté la capacité germinative. En effet, le **taux de germination est resté supérieur à 95 %** pour tous les traitements salins, quelles que soient la nature des graines (GD ou GND) et les concentrations de NaCl appliquées (0, 25, 50, 100 mM).

Cependant, un **retard dans le début de la germination** a été observé à des concentrations élevées (50 et 100 mM de NaCl), plus particulièrement chez les graines non décortiquées. Ce phénomène pourrait être attribué à l'effet barrière du tégument, qui bien qu'il protège contre certains stress abiotiques, peut également ralentir l'imbibition de l'eau et des sels chez certaines espèces.

Des études antérieures confirment ce rôle protecteur du tégument contre le stress abiotique. Moïse *et al.* (2005) rapportent que les propriétés morphologiques du tégument peuvent fortement influencer sa perméabilité aux éléments toxiques. Chez plusieurs espèces, la salinité peut avoir un effet inhibiteur marqué sur la germination. Par exemple, Zhu (2001) a montré qu'une concentration élevée en sel empêche la germination chez *Arabidopsis thaliana*. De même, Askri *et al.* (2007) ont observé une réduction significative de la vitesse et de la capacité germinative des graines de pastèque (*Citrullus lanatus* L.) sous des concentrations de 50 et 100 mM de NaCl.

Une autre étude menée sur des graines d'artichaut (*Cynara scolymus*) a révélé que plus de 50 % des graines irriguées avec une solution saline sont mortes entre le 4^{ème} et le 5^{ème} jour après l'apparition de la radicule (Mauromicale et Licandro, 2002). Ces effets délétères s'expliquent par différents mécanismes, tels que'une diminution de la disponibilité et de la vitesse d'absorption de l'eau par la graine ; une augmentation de la pression osmotique empêchant l'imbibition (Katembe *et al.*, 1998) ;ou encore une accumulation d'ions toxiques dans les tissus embryonnaires (Debez *et al.*, 2001).

Selon Prado *et al.* (2000) et Ben Miled *et al.* (1986), la salinité inhibe la germination par deux mécanismes : (i) en empêchant la germination sans altérer la viabilité de la graine, et (ii) en retardant la germination à des concentrations qui induisent un stress osmotique, sans toutefois empêcher l'émergence finale.

Ainsi, malgré la résilience apparente du *Moringa oleifera* à la salinité en termes de taux de germination, le stress salin induit un décalage temporel de la germination, qui pourrait avoir des conséquences agronomiques sur le terrain, notamment en conditions arides ou semi-arides.

II. 2.1.2. Effet du NaCl sur la longueur des racelles et des tigelles de *Moringa*

Les résultats obtenus montrent que le NaCl exerce un effet inhibiteur significatif sur la longueur des racelles et des tigelles du *Moringa oleifera* Lam., issues de graines décortiquées (GD) que non décortiquées (GND), où on a enregistré une diminution importante de ces dernières au fur et à mesure que les doses du NaCl appliquées augmentent, confirmant la sensibilité de la plante au stress salin.

La croissance des racines est fortement inhibée probablement en raison de leur contact direct avec la solution saline, ce qui entraîne une perturbation des processus physiologiques essentiels tels que la division et l'élongation cellulaire. Ces observations sont cohérentes avec plusieurs travaux antérieurs, notamment ceux de Romero-Aranda *et al.* (2001) chez la tomate, et Meloni *et al.* (2001) chez le coton, qui ont également rapporté une réduction de la croissance végétative sous stress salin.

Des variations de sensibilité au sel ont également été rapportées entre espèces et même entre cultivars (Ommamie, 2005), ce qui souligne l'importance du matériel végétal utilisé. Dans notre étude, les plantules issues des graines non décortiquées (GND) se sont révélées plus sensibles à la salinité que celles issues des graines décortiquées (GD). Cela pourrait être lié à une absorption différenciée des ions ou à un retard d'imbibition et de germination induit par la présence du tégument.

De plus, les racelles se sont avérées plus sensibles que les tigelles, probablement parce qu'elles sont les premiers organes à interagir avec l'environnement salin. Ces résultats rejoignent ceux de Benyahia (2020), qui a également observé une inhibition marquée de la formation et de l'élongation des racines sous l'effet de concentrations croissantes de NaCl.

II.2.1.3. Effet du NaCl sur le nombre des feuilles de *Moringa*

L'étude de l'effet du stress salin induit par le NaCl sur *Moringa oleifera* Lam, révèle que la salinité affecte significativement le développement foliaire, notamment en réduisant le nombre de feuilles produites chez les jeunes plantules. Lorsque la concentration de NaCl augmente (par exemple à partir de 50 mM), on constate une diminution progressive du nombre de feuilles. Cette réponse est probablement due à Un stress osmotique initial qui perturbe l'absorption d'eau, ralentissant la croissance des tissus méristématiques responsables de la formation des feuilles. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus avec des résultats de Embarek et Lamouri,2019 Ce qui a été prouvé que NaCl a des effets négatifs sur les feuilles des agrumes.

II.2.2. Effet du NaCl sur l'anatomie du *Moringa oleifera* Lam.

Les résultats obtenus montrent que la salinité a un effet sur l'anatomie des racines et des tiges de *Moringa oleifera* Lam., montre que le NaCl provoque des altérations structurales dans la taille et le nombre des cellules de différents tissus et en particulier les vaisseaux du xylème, dont l'ampleur de ces modifications augmente avec l'augmentation des doses de NaCl appliquées. Ce comportement peut être interprété comme un mode d'adaptation vis à vis au NaCl. Une adaptation anatomique chez les plantes est généralement corrélée à une adaptation biochimique et physiologique.

Les plantules issues des graines décortiquées (GD) présentent des modifications anatomiques au niveau des racines et des tiges plus accentuées que celles issues des graines non décortiquées (GND), suggérant une sensibilité accrue due à l'absence de protection naturelle contre le stress salin. La coque des graines non décortiquées agit comme une barrière partielle, atténuant les effets du sel sur l'épiderme et le parenchyme cortical. En revanche, l'absence de cette protection chez les graines décortiquées expose directement les cellules à un environnement salin. Des résultats sont identiques à ceux obtenus de l'étude portée sur d'autres plantes telles que les plantules de *Glycine max* a montré que l'épaisseur des vaisseaux du xylème diminue avec la salinité, cela peut être dû en partie à la répression du développement du métaxylème (El-Rodeny W.M., *et al.*, 2012). Hameed *et al.*, (2019) ont conclu qu'une surface importante du métaxylème joue un rôle dans la conduction de l'eau et les nutriments, particulièrement sous des conditions salines. En outre, les résultats obtenus par Akram *et al.*, (2002) révèlent une diminution dans le parenchyme cortical et médullaire en présence de NaCl chez le blé.

Conclusion et perspectives

La salinité constitue un facteur abiotiques majeur affectant la germination, la croissance et le développement des plantes, en particulier dans les régions arides et semi-arides. Le présent travail a été mené afin d'évaluer l'effet du chlorure de sodium (NaCl), à différentes concentrations (0, 25, 50 et 100 mM), sur la germination, la croissance initiale et l'anatomie des plantules de *Moringa oleifera* Lam., en comparant les graines décortiquées (GD) et non décortiquées (GND).

Les principaux résultats obtenus ont permis de tirer les conclusions suivantes :

➤ **Sur les paramètres de germination :**

- Le stress salin n'a pas affecté significativement le taux final de germination, qui reste supérieur à 95 % pour toutes les concentrations et pour les deux types de graines (GD et GND).
- Toutefois, un retard de germination a été observé à partir de 50 mM de NaCl, particulièrement chez les graines non décortiquées, ce qui suggère un effet du tégument sur l'absorption du sel et de l'eau.
- Le NaCl exerce un effet inhibiteur marqué sur la croissance des racelles et des tigelles, avec une réduction significative de leur longueur à mesure que la concentration en sel augmente.
- Les racelles sont les plus sensibles, en raison de leur contact direct avec la solution saline. À 100 mM, leur croissance est fortement inhibée.
- Le nombre de feuilles est également affecté, avec une diminution nette à 50 et 100 mM, voire une absence totale de feuilles à la concentration la plus élevée.

➤ **Sur les paramètres anatomiques :**

- L'analyse microscopique des racelles et des tigelles a mis en évidence des altérations structurelles importantes sous l'effet du sel : réduction du nombre et du diamètre des vaisseaux du xylème, désorganisation du phloème, diminution de l'épaisseur du cortex et du sclérenchyme.
- Ces perturbations anatomiques sont plus marquées chez les plantules issues des graines décortiquées (GD), ce qui reflète une plus grande sensibilité due à l'exposition directe de l'embryon au stress salin.
- Le *Moringa oleifera* Lam. Présente une **certaine tolérance à la salinité au stade de germination**, mais subit des effets délétères significatifs sur la croissance et la structure interne de ses tissus à partir de 50 mM de NaCl, en particulier au niveau des racines.

❖ Perspectives

- Les résultats obtenus dans ce travail ouvrent plusieurs pistes de recherche pour mieux comprendre les mécanismes de tolérance de *Moringa oleifera* Lam. au stress salin :
- Réaliser une évaluation morphophysiological complète (biomasse fraîche et sèche, teneur en eau, taux de photosynthèse, etc.) sous l'effet de la salinité.
- Étudier l'effet du NaCl sur le matériel génétique, notamment en évaluant les dommages à l'ADN, et en identifiant les gènes impliqués dans la tolérance au sel et la synthèse des composés protecteurs (proline, sucres, etc.).
- Mener une étude plus approfondie sur la distribution cellulaire et tissulaire du sel, afin de localiser les zones d'accumulation dans les organes végétatifs.
- Évaluer les réponses biochimiques et enzymatiques associées à la tolérance au stress salin (antioxydants, hormones de stress, etc.).
- Comparer différentes variétés ou origines géographiques de *Moringa oleifera* pour sélectionner les géotypes les plus tolérants en vue d'une application en zones marginales.
- Ainsi, *Moringa oleifera* Lam. pourrait constituer une espèce modèle pour l'étude de la salinité et une plante prometteuse pour la culture dans des zones affectées par le sel, sous réserve d'un approfondissement des connaissances sur ses mécanismes adaptatifs.

Références bibliographiques

A

- Adjel F. (2017). Analyse de la tolérance de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) au stress salin. Thèse de doctorat, Université de Sétif 1.13p.
- Adjel, F. *et al.* (2013). Salt Stress Effects on Seed Germination and Seedling Growth of Barley (*Hordeum Vulgare* L.) Genotypes', *Journal of Agriculture and sustainability*, 3(2), pp. 223–237.
- Alem C. (2002). Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin', *Comptes Rendus Biologies*, 325, pp. 1097–1109. doi: 10.1016/S1631-0691(02)01531-7.
- Ansli R. (2019). Effet de stress salin sur la germination et croissance de l'espèce *Oudneya africana* R. Mémoire de master, université d'Ouargla.16p.
- Anzala F. J. (2006). Contrôle de la vitesse de germination chez le maïs (*Zea mays*) : étude de la voie de biosynthèse des acides aminés issus de l'aspartate et recherche de QTLs. Mémoire de master, d'Angers. 148p.
- Apse, M. P. and Blumwald, E. (2007) 'Na⁺ transport in plants', *FEBS Letters*, 581(12), pp. 2247–2254. doi: 10.1016/j.febslet.2007.04.014.
- ASHRAF M., HARRIS. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*. 166:3-6.
- ASKRI H., RAJEB S., JEBARI H., NAHDI H. et RAJEB M.N. (2007). Effet du Chlorure de Sodium sur la germination des graines de 3 variétés de pastèque (*Citrullus Lanatus*) sécheresse,18, (1),p. 51-55.
- Atakpama,W., Kponor. G. E., Kanda M., Dourm M., Nare ARE M., Batawila K. et Akpagana,K. (2014). *Moringa oleifera* Lam. arck (moringaceae): une ressource phytogénétique à usage multiple. *REV. CAMES* - 2(1): 6-14.
- Ayadi,I et Bounegab,S. (2020). Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin chez cinq variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Mémoire de master au stade juvénile.15p.
- Azirou A. et feraoun Z. (2020). Effet du stress salin sur la croissance et le développement des plantes et stratégies de tolérance. Mémoire de master, université de Blida .15 p.

B

- Baatour ,O., M'RAH S., BEN BRAHIM N., BOULESNEM F., LACHAAL M., (2004). Réponse physiologique de la gesse (*Lathyrus sativus*) à la salinité du milieu. Revue des régions arides, 1N: 346-358.
- BABA SIDI-KAC ,S .(2010). Effet du stress salin sur quelques paramètres phénologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'Atriplex en vue d'une valorisation agronomique,2,7,p.
- BARGHOUTI S., et LE MOINE. (1991). L'irrigation et le défi écologique. Une bonne gestion de l'eau peut protéger l'environnement. Revue finance et développement, p 32-33.
- Benbouta M. & Bouazza R. (2019). Essai d'introduction de *Moringa oleifera* dans l'alimentation d'Oreochromis niloticus et son Influence sur sa croissance, UKM Ouargla,20p.
- Ben Miled, D., M. Boussaid, A. Abdelkefi et A. Cherif, (1986), Tolérance au sel d'espèces annuelles du genre Medicago au cours de la germination. Séminaire international sur les végétaux en milieu aride, 8 au 10 septembre, Jerba, Tunisie, pp. 586-593
- Ben kaddour,M.(2014). Modifications physiologiques chez des plantes de blé(*Triticum durum* Desf), université d'Annaba.19p.
- Benyahia ,A.(2020). Effet du stress salin sur la germination et la croissance de l'espèce *Anabasis articulata* (Forsk) Moq Famille d'Amaranthaceae, UKM OUARGLA,13,15p.
- Bensaadi N.(2011). Effet du stress salin sur l'activité des alfa amylase et la remobilisation des réserves de graines d'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) en germination, mémoire de magistère, Université d'Oran.
- Bibata A. O., Haougui A., Ali M. Patrick D. (2023). Moringa (*Moringa oleifera* Lam.): A Review on its Importance Worldwide. East African Scholars J Agri Life Sci, 6 (7) : 112-120.
- Broin, M. (2005). Composition nutritionnelle des feuilles de Moringa oleifera. Moringa news. <http://www.moringanews.org>.
- Boukhalfa .I.(2013). *L'effet de la gestion de l'irrigation sur la salinisation du sol(cas de palmeraie de l'Oued Righ)*, université d'Ouargla.17p.
- Brahimi, R. (2017). Effet de la salinité sur la germination du *Niebe Vigna unguiculata* SUBSP unguiculata (L.) WALP. Université M'hamed Bougara Boumerdes.19.28p.

- Chadou.A.Meziou.A.Sadallah.M.(2021). L'effet des graines : D'Atriplex (*Nummularia, Halimus, Canscens*) et *Moringa Oleifera* sur la salinité de l'eau de la région d'El-oued. d'El-Oued.37p.
- Chaker N,Djamada S.(2024). Risques de la salinisation des sols irrigués dans la région de Mila, nord-est de l'Algérie.32.35p. cowpea seeds to salinity stress. Revista Brasileira de sementes, 27(1) :144-148.
- Cheeseman, J. M. (1988) 'Mechanisms of salinity tolerance in plants.', *Plant physiology*, 87(3), pp. 547–550. doi: 10.1104/pp.87.3.547.
- Chelghoum .I. (2020). Synthèse bibliographique sur la salinité du sol et de l'eau d'irrigation dans les zones arides. Université Kasdi Merbah – Ouargla,38p.

D

- **DEBEZ A., CHAIBI W. et BOUZID S., (2001).** Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus* L. *Agricultures* 10 ,(2), p.135-138.
- Derkaoui ,M.(2011). Les réponses morphologiques physiologique et anatomique des racines de la tomate vis-à-vis du stress salin. Thèse de Magister Université d'Oran. 1p.
- Djerroudi, Z., Belkhodja, M., S.andHadjadj, S.(2010). Effet du stress salin sur l'accumulation de prolin chez deux espèces d'*Atriplex Halimus* L. et *Atriplex canescens* (pursh) Nutt;European Journal of scientific Research ,p.249-260.

E

- EL Arbi, D, Azzouz.B, KOUDDANEa N., BERRICHIA,A. (2012). Effet de la salinité sur la germination et la croissance in vitro du *Washingtonia filifera* L. Oujda Maroc.32p.
- El-Rodeny W.M., EL-Okkiah A. F. S., Egypt. J. Bot. 2nd International conference, 29-30 April, Minia Univ. (2012)37.
- Esechie, H. (1995) 'Partitioning of chloride ion in the germinating seed of two forage legumes under varied salinity and temperature regimes', *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26(19–20), pp. 3357–3370. doi 10.1080/00103629509369532.

F

- Foidl N., Makkar H.P.S. and Becker K. (2001). Potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie. Potentiel de développement des produits du *Moringa*. Dar Es Salaam. Tanzanie. 29 octobre - 2 novembre 2001.
- FAO STAT., "Annuaire statistique de la FAO". Service des terres et nutrition des plantes .Editeur technique : Danilo Mejia FAO-

STAT.(2008).(<https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-launches-first-major-global-assessment-of-salt-affected-soils-in-50-years/fr>)

- Fauna et Flora International (FFI). (2013). Comment faire germer les semences et cultiver les jeunes plants d'arbres. Notice 7. Global Trees Campaign, p.2.

G

- Gampine D. (1992). Etude de la germination et des plantules de quelques essences spontanées de combrétacée et césalpiniacée au burkinafaso.diplome d'ingénieur du développement rural Burkina Faso.120p.
- GHERSI M., Abdelmalek R. (2020). L'effet de stress salin (Na cl) sur la germination et la croissance post germinative de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.), Tlemcen,29p.
- Gridi W, Meguimi F. (2022). Réponses physiologiques et biochimiques de l'orge (*Hordeum vulgare*L.) Au stress salin. Guelma30p.

H

- HAMADI A.,Rebai kh. (2024). Effet de stress hydrique sur la germination et la croissance de deux génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum*). MCB. – université de Constantine 1 Frères Mentouri. 26p.
- HAMAD, H.(2021). Effet du plomb sur les paramètres anatomique, biochimique et chimique du *Moringa oleifera* Lam. Université de Mostaganem.68p.
- Hamdoud ,N (2012). Effet du stress salin sur la croissance et la physiologie de la féverole (*Vacia faba* L.)9p.
- Hameed M., Nawaz T., Ashraf M., Naz N., Batool R., Ahmad M.S.A., Riaz A., *Turk. J. Bot.* 37 (2013) 715-724.
- Hamsas, S. (2013). Effet combiné de la salinité et de l'acide salicylique sur le comportement des graines et des plantes juveniles du gombo (*Abelmoschirs esculentus* L.), université d'Oran.p 3.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K. and Fujita, M. (2013). Plant Response to Salt Stress and Role of Exogenous Protectants to Mitigate Salt-Induced Damages', in P. Ahmad *et al.* (ed.) *Ecophysiology and responses of plants under salt stress*, pp. 25–87.-doi: 10.1007/978-1-4614-4747-4.
- Hauser, F. and Horie, T. (2010). A conserved primary salt tolerance mechanism mediated by HKT transporters: A mechanism for sodium exclusion and maintenance of high K⁺/Na⁺

ratio in leaves during salinity stress', *Plant, Cell and Environment* 33(4), pp. 552–565. doi: 10.1111/j.1365-3040.2009.02056. x.

- Hraki A. (2020). Effet du stress salin sur la germination de Henné, université de Biskra.25.28.

Q

- Qiu, Q. S. *et al.* (2004) 'Regulation of Vacuolar Na⁺/H⁺ Exchange in *Arabidopsis thaliana* by the Salt-Overly-Sensitive (SOS) Pathway', *Journal of Biological Chemistry*, 279(1), pp. 207–215. doi: 10.1074/jbc.M307982200.

L

- LardjaniA. (2019). L'effet de stress salin sur la germination du fève (Variété Locale, Luz de Otono, Claro de Luna). Biskra.19p.
- LatlaSaadia ,Oulad laid Meriem. (2020). Etude des fractions Lipidiques et Protéiques des extraits de quatre parties de *Moringa Oleifera L* (Feuilles, Fleurs, Gousses et Graines) Cultivée à Metlili (Ghardaïa),17,19p
- Läuchli, a and Grattan, S. R. (2007) 'Plant growth and development under salinity stress', *Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops*, pp. 1–32.
- Legros, J. P. (2012) *Soil Groups Major Soil Groups Major: ecology, genesis, properties and classification*. CRC Press. 570p.

M

- Mada F., Diawo D., Edmond A.B., Lahat N., Abdoulaye D., et Nicolas C. A. (2024), Investigations ethnobotaniques sur *Moringa oleifera* Lam.. (Moringaceae) dans deux régions du Sénégal, UCAD, BP 5005, Dakar, Sénégal. 18(4),2p.1384-1394.
- Mohamed A. (2019). Impact de la salinité des eaux non conventionnelles sur le comportement eco-physiologique de deux variétés de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). Thèse de doctorat, université de Blida 1.24.30.32p.
- Mahmood K. T., Mugal T., Haq I. U., (2010). *Moringa oleifera*: a natural gift-Areview. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2(11), 775.
- Medjouri Radia, LAIB Amel,2016, Effet de la température sur la germination de quelques plantes spontanées du Sahara (*Retama retam*, *Asphodel ustenuifolius* *Oudneya africana*, *Genista saharae*), université d'Ouargla.12p.
- Meloni d A., Oliva M A., Ruiz h A. et Martinez C.A., (2001). Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant*

- Nutr Moise, J.A., Han, S., Gudynaite-Savitch, L., Johnson, D.A., Miki, B.L.A. (2005). Seed coats: structure, development, composition, and biotechnology. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant*, 41: 620-644.
- Mouna El fakhri, Said Mahboub, Mounsif Benchekroun, Nasserelhaq Nsarellah.(2011). Effet du stress hydrique sur la répartition ionique dans les feuilles et les racines du blé dur (*Triticum Durum*). *Maroc. Nature & Technologie*.66p
- Munns, R. (1993) 'Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses', *Plant, Cell & Environment*, 16(1), pp. 15–24. doi: 10.1111/j.1365-3040.1993.tb00840.x.
- Munns, R. and Tester, M. (2008) 'Mechanisms of salinity tolerance.', *Annual review of plant biology*, 59, pp. 651–681. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911.
- Munns, R. (2005) 'Genes and salt tolerance: Bringing them together', *New Phytologist*, 167(3), pp. 645–663. doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x.

N

- NASSIRA,S.(2010..) Effet des différentes eaux salines sur la germination de l'*Atriplex*, Ouargla,11p.

O

- Obafèmi Arnauld Fernand LALEYE 1*, Hyacinthe AHISSOU 1, Abiodoun Pascal OLOUNLADE 2 , Erick Virgile Bertrand AZANDO 2 , et Anatole LALEYE 3.(2015). Etude bibliographique de trois plantes antidiabétiques de la flore béninoise:Khaya senegalensis (Desr) A. Juss (Meliaceae), Momordicacharantia Linn (Cucurbitaceae) et Moringa oleifera Lam. (Moringaceae). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 9(5). 2682-2700.
- **OMAMI E.N., (2005)**. Response of Amaranth to salinity stress. These Ph.D Horticulture. Departement of plant production and soil science, Faculty of natural and agricultural sciences, University of Pretoria. p 235.
- Othman, Y. (2006) 'Variation in Germination and Ion Uptake in Barley Genotypes under Salinity Conditions', *World J. Agric.Sci.*, 2(1), pp. 11–15.
- Özturk, M. *et al.* (2006) 'Alleviation of Salinity Stress in the Seeds of Some Brassica Species', in *Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants*. Springer Science & Business Media, pp. 145–156.

P

- Poljakoff-Mayber, A. (1975). Morphological and anatomical changes 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: 97-117. Springer, Berlin.
- **Prado** F.E., C. Boero, M. Gallardo and J.A Gonzalez, (2000), Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 41, pp. 27-34
- Price M. L., (2007). Le moringa. Note technique-ECHO (revue en 2000, en 2002 et en 2007).

K

- KAGHOUCHE M.M.L. (2020). Effet du PEG-6000 sur la germination du blé dur (*Triticum durum* Desf) et recherche in silico de gènes codant pour les facteurs de transcription WYRK. Mémoire de Master de l'université de des Frères Mentouri Constantine 1, p.
- Karley, a J., Leigh, R. a and Sanders, D. (2000) 'Differential ion accumulation and ion fluxes in the mesophyll and epidermi of barley.', *Plant physiology*, 122(3), pp. 835–844. doi: 10.1104/pp.122.3.835
- Katembe WJ., Ungaria. et Mitchell JP.,(1998). Effect of Salinity on germination and seedling growth of two Atriplex species Chenopodiaceae. *Ann Bot* ; 82:165.
- Koul B., Chase N. (2015). *Moringa oleifera* Lam.: Panacea to several maladies. *J. Chem.Pharm. Res.*, 7(6), 687-707.
-

R

- Rahnama H et EbrahimzadeH H. (2005). The effect of NaCl on antioxidant enzyme activities in potato seedling. *Biol Plant*.pp93-97.
- Ramade, F. (2008) *Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité*. Dunod. Paris. 737p.
- REDDYAR et al.(2004): Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J Plant Physiol* p161-1189-1202.
- Romero, Aranda R., Soria T. et Cuartero J., (2001). Tomato plant-water ptake and plant- water relationships under saline growth conditions. *Plant Sciences*. 160,265-272.

S

- Said BOUDAa, Abdelmajid HADDIOUIb,(2011), Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex* , B.P. 523, Beni Mellal, Maroc,72p.
- Salah E. El-Hendawya, Yuncai Hua, Gamal M. Yakout , Ahmed M. Awadb, Salah E. Hafiz, Urs Schmidhalter.2005. Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. *Ismalia, Egypt.Europ. J. Agronomy* 22 (2005) 243–253.
- Servant, J. M. (1978) ‘La salinité dans le sol et les eaux: caractérisation et problèmes d’irrigation-drainage’, *Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, Section II(2), pp. 123–142.
- Singla-Pareek, S. L. *et al.* (2008) ‘Enhancing salt tolerance in a crop plant by overexpression of glyoxalase II’, *Transgenic Research*, 17(2), pp. 171–180. doi: 10.1007/s11248-007-9082-2.
- Smahi eps Touazi , Kh.(2021). Étude de l’efficacité d’épuration des eaux usées domestiques de l’oued de Bechar par l’utilisation du sable et les graines de *Moringa oleifera* Lam., UNIVERSITÉ ABOU-- BEKR BELKAID–TLEMCEN,33p.
- Sosa, L. *et al.* (2005) ‘Osmotic and specific ion effects on the germination of *Prosopis strombulifera*’, *Annals of Botany*, 96(2), pp. 261–267. doi: 10.1093/aob/mci173.
- Szabolcs, I. (1994) ‘Prospects of soil salinity for the 21st century’, *Agro KémiaÉsTalajtan Tom.43*, 1–2, pp. 5–25.

Y

- Yeo, a R. and Flowers, T. J. (1982) ‘Accumulation and localisation of sodium ions within the shoots of rice (*Oryza sativa*) varieties differing in salinity resistance’, *Physiol. plant.*, 56, pp. 343–348. doi: 10.1111/j.1399-3054. 1982.tb00350.x

Z

- Zhu, J. K. (2003) ‘Regulation of ion homeostasis under salt stress’, *Current Opinion in Plant Biology*, 6(5), pp. 441–445. doi:10.1016/S1369-5266(03)00085-2.
- Zhu, J.-K. (2002) ‘Salt and Drought Stress Signal Transduction in Plants’, *Annual Review of Plant Biology*, 53(1), pp. 247–273.doi: 10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329.
- ZHU J.K., (2001). Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, 2001, n°2 vol. 6, p. 66 71.

Annexes

Tableau 01 : Analyse de variance de l'effet de NaCl sur le taux de germination des graines non décortiquées de *Moringa oleifera* Lam.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	885,668	15	59,045				
VAR.FACTEUR 1	850,34	3	283,447	96,279	0		
VAR.RESIDUELLE 1	35,328	12	2,944			1,716	15,98%

Tableau 02 : Analyse de variance de l'effet de NaCl sur le taux de germination des graines décortiquées de *Moringa oleifera* Lam.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	655,815	15	43,721				
VAR.FACTEUR 1	617,478	3	205,826	64,425	0		
VAR.RESIDUELLE 1	38,338	12	3,195			1,787	17,66%

Tableau 03 : Analyse de variance de l'effet de NaCl sur le nombre des feuilles des graines non décortiquées de *Moringa oleifera* Lam.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	388,32	15	25,888				
VAR.FACTEUR 1	367,28	3	122,427	69,825	0		
VAR.RESIDUELLE 1	21,04	12	1,753			1,324	22,44%

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0	F1n1	12,4	A			
2.0	F1n2	8,3		B		
3.0	F1n3	2,9			C	
4.0	F1n4	0				D

Tableau 04 : Analyse de variance de l'effet de NaCl sur le nombre des feuilles des graines décortiquées de *Moringa oleifera* Lam.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	337,92	15	22,528				
VAR.FACTEUR 1	326,16	3	108,72	110,939	0		
VAR.RESIDUELLE 1	11,76	12	0,98			0,99	16,50%

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0	F1n1	11,7	A			
2.0	F1n2	8,7		B		
3.0	F1n3	3,6			C	
4.0	F1n4	0				D