



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret–
Faculté Sciences de la Nature et de la Vie Département de Biologie



Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master académique
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Génétique moléculaire et amélioration des plantes

Présenté par :
AGUIB Manel Bochra
BOUCHKHI Chaimaa

Thème

Effet du Stress Salin sur la tolérance de lentille
(Lens culinaris)

Soutenu à Tiaret devant le jury composé de :

Président :	Mme REGAGBA Zineb	Professeur
Examineur :	Mme LAHOUAL Habiba	Maître conférence B
Encadrant :	Mme ZERROUKI Mimouna	Maître conférence B

Année universitaire
2024/2025

REMERCIEMENT

Nous remercions tout d'abord Dieu, le Tout-Puissant, qui nous a accordé la patience et le courage nécessaires à la réalisation de ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre professeure, Mme Zerrouki, pour son encadrement, ses conseils précieux et son soutien tout au long de ce travail.

Nous remercions également les membres du jury pour avoir accepté de lire et d'évaluer ce travail.

Nous remercions l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation tout au long de notre parcours universitaire.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce modeste travail

Dédicace

Avant tout, je remercie Allah, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la santé, la force et la volonté nécessaires à la réalisation de ce modeste travail.

Je dédie ce travail

À mes chers parents, Merci pour tout votre amour, vos sacrifices et votre soutien tout au long de mes études. Que Dieu vous donne une longue vie, une bonne santé et beaucoup de bonheur, J'espère pouvoir un jour vous rendre tout ce que vous avez donné.

À mes frères Tayeb, Hamza et (ses enfants), Hakim et Yousef, ainsi qu'à ma

Chères sœur Amina que dieu vous protège

A tous mes amis et collègues, à qui je souhaite un grand succès, pour l'amitié sincère qui nous a toujours unis et a Et merci beaucoup à ma super partenaire BOUCHIKHI CHAIMAA dans le projet. Ton travail et ton soutien ont été incroyables. Je n'oublie pas non plus tous mes enseignants, à qui j'adresse ma gratitude

Bouchra

Dédicace

Ce projet fin d'étude est dédié à mes chers parents ma mère BELGUENDOZ ZINAB et mon père ABDELBAKI, qui m'ont toujours poussé et motivé dans mes études. Sans eux, je n'aurais certainement pas fait d'études longues. Ce projet fin d'étude représente donc l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité. Qu'ils en soient remerciés par cette trop modeste dédicace.

C'est un moment de plaisir de dédier cet œuvre, à ma belle-sœur : Ahlam, en signe d'amour, de reconnaissance et de gratitude pour le dévouement et les sacrifices dont vous avez fait toujours preuve à mon égard. Et mes frères : Tarek et Abdelmalak.

Et finalement, à mes ami(e)s MAHBOUB Sara, AISSAOUI Aya, KOURAK Amina, et mon collègue AGUIB Bouchra qui n'ont jamais cessé(e) de me soutenir

Chaimaa

ملخص:

هذا العمل يهدف إلى تقييم مدى تحمل أربعة أصناف من العدس (الأحمر المقشور، سوريا 229، الأحمر الميوتوتي، والبذور المنتقا 8-9) للملوحة تحت ظروف شبيه مضبوطة. تم زراعة النباتات في أصص داخل بيت بلاستيكي، وعُرضت لمدة أربعة أسابيع إلى مستويات مختلفة من الملوحة (0، 50، 100 و 150 ملي مول من كلوريد الصوديوم (NaCl). استندت الدراسة إلى تحليل معايير فسيولوجية (المحتوى النسبي للماء) وكيميائية حيوية (البرولين، السكريات الذائبة، والبروتينات).

أظهرت النتائج حساسية عامة للعدس تجاه الملوحة العالية، خصوصاً عند تركيز 150 ميلمول. أدى الإجهاد الملحي إلى انخفاض واضح في محتوى الماء النسبي، خاصةً في صنف سورية 229 (41.99% عند 100 ميلمول)، مما يدل على ضعفه في مقاومة الملوحة. في المقابل، حافظ صنف العدس الأحمر المقشور على نسبة ترطيب عالية (93.43% عند 0 ميلمول)

كما لوحظ ارتفاع ملحوظ في مستويات البرولين والسكريات الذائبة تحت تأثير الملوحة، مما يدل على دورهما في التكيف الأسموزي. بلغت قيمة البرولين 0.197 ملغ/غ مادة طازجة في العدس الأحمر المقشور (150 ميلمول)، بينما وصلت السكريات الذائبة إلى 19.63 ملغ/غ في صنف البذور المنتقا (8-9). أما البروتينات فقد اختلفت استجاباتها حسب الصنف، دون نمط ثابت.

في الختام، تبين أن صنف العدس الأحمر المقشور (V1) والبذور المنتقا (8-9) (V4) هما الأكثر تحملاً للملوحة، في حين أظهر الصنف سورية 229 (V2) أكبر درجة من الحساسية.

الكلمات المفتاحية: العدس، الإجهاد الملحي، التحمل، المعايير الفسيولوجية، المعايير البيوكيميائية.

Résumé :

Ce travail a pour objectif d'évaluer la tolérance à la salinité de quatre variétés de lentille (rouge décortiquée, Syrie 229, rouge métotique et semence triée 8-9) en conditions semi-contrôlées. Les plantes ont été cultivées en pots sous serre et soumises pendant quatre semaines à différents niveaux de salinité (0, 50, 100 et 150 mM NaCl). L'étude s'est appuyée sur l'analyse de paramètres physiologiques (teneur relative en eau) et biochimiques (proline, sucres solubles, protéines).

Les résultats révèlent une sensibilité globale de la lentille aux fortes concentrations en sel, en particulier à 150 mM. Le stress salin a entraîné une baisse marquée de la teneur relative en eau, notamment chez la variété Syrie 229 (41,99 % à 100 mM NaCl), indiquant sa faible tolérance. À l'inverse, la variété rouge décortiquée a conservé une meilleure hydratation (93,43 % à 0 mM).

Par ailleurs, la concentration en proline et en sucres solubles a augmenté significativement avec le stress, traduisant une réponse adaptative. La proline a atteint 0,197 mg/g MF chez la lentille rouge décortiquée à 150 mM, tandis que les sucres solubles ont culminé à 19,63 mg/g MF chez la semence triée (8-9). La teneur en protéines a montré des variations selon les variétés, sans tendance uniforme.

En conclusion, les variétés rouge décortiquée (V1) et triée (8-9) (V4) se sont révélées les plus tolérantes à la salinité, tandis que la variété Syrie 229 (V2) s'est montrée la plus sensible.

Mots clés : lentille, stress salin, tolérance, paramètres physiologiques, paramètres biochimiques.

Summary:

This study aims to assess the salinity tolerance of four lentil varieties (dehulled red, Syria 229, mitotic red, and sorted seeds 8-9) under semi-controlled conditions. The plants were grown in pots in a greenhouse and exposed for four weeks to increasing NaCl concentrations (0, 50, 100, and 150 mM). Physiological (relative water content) and biochemical parameters (proline, soluble sugars, and proteins) were analyzed.

The results revealed a general sensitivity of lentils to high salinity levels, especially at 150 mM. Salinity stress caused a marked decrease in relative water content, particularly in Syria 229 (41.99% at 100 mM), indicating low tolerance. In contrast, the dehulled red lentil maintained higher hydration (93.43% at 0 mM).

Proline and soluble sugar contents increased significantly with salinity, indicating their role in osmotic adjustment. Proline peaked at 0.197 mg/g FW in the dehulled red lentil at 150 mM, while soluble sugars reached 19.63 mg/g FW in the sorted seed variety (8-9). Protein levels varied depending on the variety, showing no consistent pattern.

In conclusion, the dehulled red variety (V1) and the sorted seed variety (8-9) (V4) proved to be the most tolerant to salinity, while the Syria 229 variety (V2) was the most sensitive.

Keywords: lentil, salinity stress, tolerance, physiological parameters, biochemical parameters.

SOMMAIRE

Liste des tableaux.....	I
Liste des figures.....	II
Liste des Abréviations.....	III
Introduction générale	1
PARTIE BIBLIOGRAPHIE	4
CHAPITRE 1 : DESCRIPTION GENERALE DE LENTILLE	4
1.Histoire et origines de lentille :	4
2.1Les racines :.....	5
2.2Tige et Les feuilles :	5
2.3Les gousses et graines :	5
3. Classification botanique de lentilles :.....	6
4.Les types de graines de lentilles	7
5.Cycle de développement de la lentille	7
6.Génétique de la lentille	8
7. Exigences pédoclimatique :	9
7.1. Sol :	9
7.2. L'eau :	9
7.3. La température :	9
8. Zone de culture et production de lentilles	10
8.1. À l'échelle mondiale	10
8.2. En terre algérienne	10
8.3 Les variétés cultivées en Algérie	12
9. Les avantages de lentille :.....	12
9.1. Pertinence agronomique :	12
9.2. Valeur nutritive :	13
10. Les ennemis de lentilles	13
10.1. Les maladies	13
10.2. Les ravageurs hrips et Sitone :	14
11. Intérêts des légumineuses alimentaires et de la Lentille.....	16
11.1. Intérêt nutritionnel, sanitaire et propriétés chimiques	16
11.3 .Intérêt économique	16
II. Chapitre 02: Généralités sur le stress salin.....	19

1.Définition de stress salin :	19
2.Impacts de la salinité sur la végétation :.....	19
2.1.L'impact de la salinité sur le processus de germination. :	19
2.2. L'impact de la salinité sur la croissance et le développement	20
2.3. L'impact la photosynthese :	20
2.4. L'impact de la salinité sur la morphologie de plante	21
2.4.1. L'impact de la salinité sur la surface foliaire	21
2.4.2. L'impact de la salinité sur la les racines.....	22
2.4.3. L'impact de la salinité sur Les tiges :	22
2.4.4. L'impact Sur de la salinité sur la les feuilles :	22
2.6. L'impact de la salinité de la Salinité sur les Processus Physiologiques des Plantes :	22
2.7. L'impact de la salinité de la salinité sur le comportement biochimique de la plante.....	23
3.Mécanismes de résistance des végétaux au stress	24
3.1.Tolérance des Plantes aux Stress Biotiques	24
3.2.Mécanisme de défense aux stress abiotique :	24
3.3.La réponse physiologique à la salinité :	26
3.4.Homéostasie Cellulaire Face au Stress Salin :.....	26
3.5.Prélèvement de Potassium (K ⁺) :	27
3.6.Biosynthèse des Osmoprotectants :	27
3.7.Protéines Induites par le Sel :	28
3.8.Régulation de la Croissance Racinaire Face au Stress Salin :	28
Patrie II.....	30
Partie Expérimentale.....	30
Chapitre III	31
materile et methodes.....	31
1. Objectif de l'étude :	32
3.Matériel végétal :	32
3. Conditions de l'expérimentation :	33
3.1. Localisation de l'essai :	33
3.2. Conditions et gestion de la culture :	34
3.2.2. Transfert et replantation des plantules :	35
4. Paramètres de tolérances examinées :	40
4.1. Paramètres physiologiques.....	40
4.1.1. La teneur relative en eau.....	40
4.2. Paramètres biochimiques :	40
4.2.1. Dosage des sucres totaux :	40

Chapitre IV: Analyse et discussion des résultats relatifs à l'impact du stress salin sur la lentille.....	45
1. paramètres physiologiques.....	46
1.1.Teneur relative en eau	46
2. Paramètres biochimiques :.....	48
2.1.Taux de sucres	48
2.2.Teneur en Proline	50
Discussion	54
Conclusion générale.....	60
Références bibliographiques.....	63
Site web :.....	70
Annex :.....	71

Liste des tableaux

Tableau 1 : Production en tonnes de lentille pour l'année 2008 — Données issues de FAOSTAT (interrogation du 12 janvier 2011).....	11
Tableau 2 : Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de lentilles cuites (ciquals 2008).....	14
Tableau 3 : Le matériel végétal etulise.....	33
Tableau 4: Diverses concentrations des solutions salines.....	37
Tableau 5: Compositions de la solution nutritive.....	39
Tableau 6: Effet du génotype, de traitement stress salin et de leurs interactions sur le paramètre physiologiques mesurés chez les 3 génotypes.....	46
Tableau 7: Résultats moyenne de la teneur relative en eau chez les génotypes testés et sous les quatre traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150 mM).....	47
Tableau 8: effet du génotype, de traitement stress salin et de leurs interactions sur les paramètres biochimiques mesurés chez les 4 génotypes.....	48
Tableau 9: Résultats moyenne du taux des sucres chez les génotypes testés et sous les quatre traitements salins appliqués (0, 50, 100, 150 mM).....	49
Tableau 10: Résultats moyenne de la teneur en proline chez les génotypes testés et sous les quatre traitements salins appliqués (0, 50, 100, 150 mM).....	51
Tableau 11: Résultats moyenne de la teneur en protéine chez les génotypes testés et sous les quatre traitements salins appliqués (0, 50, 100, 150 mM).....	53
Tableau 12: Matrice de corrélation.....	71

Listes de figure

Figure 1: Morphologie d'une plante de lentille (1) plante, (2) feuille. (3) gousse, (4) graine, (Vandenberg et Slinkard, 1990).....	06
Figure 2: Cycle biologie de lentille Germination, Croissance. Élongation de la tige Floraison, Fructification, (Schwartz et Langham, 2012).....	08
Figure 3: Zones d'aptitude de la culture de la lentille en Algérie (ITGC, 2013).....	12
Figure 4: les 04 variété utilises de lentille.....	32
Figure 5: Site Expérimentale.....	33
Figure 6: desinfection de lentille pre germee.....	34
Figure 7: Les boîtes pétris étiqueté placée sur l'étuve.....	35
Figure 8: transplatation de grains germes a l'alveoles.....	35
Figure 9: Les jeunes plantulesde lentilles.....	36
Figure 10: vue general de l'essai.....	37
Figure 11: dispositif experementale.....	38
Figure 12: lextration de sucre dans lethanol.....	41
Figure 13: corelation de melange.....	42
Figure 14: spectometre.....	42
Figure 15: corelation du solution dans le dosage de proline.....	43
Figure 16: dosage finale de proteine.....	44

Listes des Abréviations

% : Pourcentage

Cl : Chlore

Na : Sodium

K : Potassium

TRE : Teneur en eau relative

RWC : Relative Water Content

mM: Millimole

B : Bore ppm: Parties par million

Pf : Poids frais

Ps : Poids sec

Pr : Poids réhydratation

MF : Matière fraîche

N.S : Non Significative

S : Significative

NaCl : Chlorure de Sodium

T : Témoin

S: 50 mM

D: 100 mM

V : 150 mM

Introduction générale

Introduction générale

La Lentille (*Lens culinaris Medic.*) est l'une des plus anciennes légumineuses à grains annuelles consommées et cultivées dans le monde. Ses centres d'origine sont le proche Orient et l'Asie de l'Ouest. Elle est cultivée en Asie (Turquie, l'Inde et Syrie), en Afrique, en Amérique du nord (Canada, Etat unis) et en Australie qui est devenu un des plus grands producteurs et exportateurs de la lentille depuis 1990 (**Erskine et al., 2009**).

Le stress salin représente l'un des principaux facteurs abiotiques, affectant environ 7 % des terres mondiales, soit près de 1000 millions d'hectares (**Amanturdiév et al., 2020**). Ce pourcentage atteint plus de 30 % dans les régions arides et semi-arides (**Asfaw et al., 2018**) et devrait continuer à augmenter en raison du changement climatique (**Baweja et Kumar, 2020**). En Algérie, par exemple, 3,2 millions d'hectares sont touchés par ce phénomène (**Bouassaba et Chougui, 2018**).

L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu chez la lentille est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs qui peuvent être des ions tels que K⁺, Na⁺ et Cl⁻, ou des composés organiques comme les sucres solubles (fructose, glucose, tréhalose, raffinose, fructanes) et certains acides aminés (proline, glycine bêtaïne, \beta-alanine bêtaïne, proline bêtaïne). Cette accumulation permet une réduction du potentiel osmotique, ce qui maintient le potentiel de turgescence (**El Midaoui et al., 2007**).

L'accumulation de ces composés a été observée chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Elle varie considérablement selon l'espèce de lentille, le stade de développement et le degré de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux) entre les lentilles témoins et les lentilles soumises au stress salin sont significatives. Ce phénomène permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance) et intervient à tous les stades de développement des lentilles. Il protège également les membranes et les systèmes enzymatiques, surtout dans les organes jeunes, la proline jouant un rôle crucial dans le maintien des pressions cytosol-vacuole et la régulation du pH (**Hassani et al., 2008**).

L'objectif de ce travail est d'évaluer la tolérance de la lentille (*Lens culinaris*) à un faible potentiel hydrique induit par un stress salin, en analysant différents paramètres liés à

INTRODUCTION GENERALE

l'ajustement osmotique, notamment des indicateurs biochimiques.

Ce travail est structuré en deux grandes parties :

Première Partie : Revue Bibliographique

Chapitre 1: Caractérisation détaillée du matériel végétal utilisé : la lentille

Chapitre 2 : Stress salin

Deuxième Partie : Partie Expérimentale

Chapitre 3 : Description du matériel employé et des méthodes appliquées au cours de l'expérimentation.

Chapitre 4: Analyse et discussion des résultats relatifs à l'impact du stress salin sur la lentille

Conclusion Générale : Synthèse des résultats et perspectives futures.

Partie Bibliographie

Chapitre I : Description générale de lentille

PARTIE BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE 1 : DESCRIPTION GENERALE DE LENTILLE

1. Histoire et origines de lentille :

Le genre *Lens* englobe six espèces de légumineuses annuelles, dont l'espèce *Lens culinaris* figure, reconnue comme l'une des plus anciennes plantes alimentaires (**Ullmann, 2005**). Il est probable que la lentille a été le premier légume à être domestiqué par l'homme; depuis, elle est domestiquée et cultivée en rotation avec les céréales, servant à la consommation humaine (**Muehlbauer et Tullu, 1997**). Durant l'Antiquité, la lentille faisait fréquemment partie du régime alimentaire des Grecs, des Juifs et des Romains. Elle servait de source de subsistance pour les plus pauvres en Égypte, grâce à ses graines riches en protéines et en divers micronutriments (**Grusak, 2009**).

Les traces archéologiques les plus anciennes de la lentille, retrouvées en Grèce et datées à 11 000 avant J.C., ainsi qu'en Syrie où elles remontent à 8500 avant J.C., ont été mises au jour. Cependant, il reste incertain si ces plantes étaient de nature sauvage ou cultivée. On a clairement identifié des graines comme étant domestiques seulement à partir du cinquième millénaire avant J.-C. (**Yunnus et Jackson, 1991**). Ses origines remontent au Proche-Orient et en Asie de l'Ouest, avant de se diffuser dans différentes parties du monde. Elle est cultivée en Asie, principalement en Turquie, en Inde et en Syrie, et également en Afrique, notamment en Éthiopie et au Maroc. Elle est largement cultivée en Amérique du Nord (Canada, États-Unis).

2. Les caractéristiques morphologiques de la plante

2.1 Les racines :

La lentille possède un système de racines pivotantes fines accompagné d'une masse de racines latérales fibreuses. On a signalé d'importantes disparités génotypiques en ce qui concerne la croissance des racines, notamment en termes de longueur de la racine principale, de quantité de racines latérales, de longueur globale des racines, de masse des racines (**Sarker et al., 2005**) et du nombre de poils par surface unitaire de racine (**Gahoonia et al., 2005**). Les lentilles ont un système racinaire limité (**Street et al., 2008**). Les racines latérales contiennent d'importants nodules qui facilitent la fixation de l'azote de l'air, ce qui assouvirait 80 % des besoins en azote de la plante. Cette fixation en symbiose atteint son apogée lors de la floraison et diminue très rapidement par la suite (**Slama, 1998**).

2.2 Tige et Les feuilles :

La tige de la lentille est de nature herbacée. Toutefois, la partie basale devient plus lignifiée à mesure que la plante se développe. L'intensité de la puberté fluctue en fonction des génotypes, allant d'une quasi-absence de poils à une couverture très fournie en poils. Les tiges sont souvent de teinte verte, toutefois, chez certains génotypes, on observe la présence de pigments anthocyaniques. D'après **Saxena (2009)**, la hauteur des plantes peut fluctuer entre 15 et 75 cm en fonction des génotypes et de leur environnement de croissance. Les feuilles possèdent une structure pennée et peuvent avoir jusqu'à 10 paires de folioles (figure 01). La première floraison sur la tige principale se situe au niveau du onzième, douzième ou treizième nœud (**Slinkard, 1990; Street et al., 2008**).

2.3 Les gousses et graines :

Chaque gousse, portée par un court pédicelle, renferme une ou deux petites graines en forme de loupe. La couleur du tégument séminal varie du blanc (absence de tannins) au vert pâle, gris, brun ou noir, et présente fréquemment des mouchetures violacées de tailles diverses (**Vandenberg et Slinkard, 1990**). Les lentilles présentent généralement une forme plate distinctive. Selon **Barulina (1930)**, leur diamètre peut aller de 2 à 9 mm



Figure 1: Morphologie d'une plante de lentille (1) plante, (2) feuille. (3) gousse, (4) graine, (Vandenberg et Slinkard, 1990).

3. Classification botanique de lentilles :

La lentille cultivée (Lens culinaris) est une espèce de plantes dicotylédones annuelles appartenant à la famille des Fabacée ou légumineuses, largement cultivée pour ses graines comestibles riches en protéines. (Site FAO state)

Règne: Plantae

Sous-règne: Tracheobionta

Division: Magnoliophyta

Classe: Magnoliopsida

Sous-classe : Rosidae

Famille: Fabaceae

Genre : lens

Nombinomial: Lensculinaris Medik., 1787

4. Les types de graines de lentilles

Les lentilles sont classées en deux groupes, selon les dimensions de leurs graines :

4.1. Groupe de *Microsperma* :

Les petites gousses renferment des graines dont le diamètre varie de 3 à 6 mm. Les téguments présentent une palette de couleurs qui va du jaune clair au noir. Les cotylédons présentent une couleur jaune ou orange. Ce groupe comprend les «lentilles corail» provenant du ProcheOrient. Si elles sont vendues en intégralité, elles sont de teinte brun-rouge, tandis que si elles sont décortiquées, leur couleur est un orange-saumon. On les cultive principalement en Inde, en Afghanistan, en Éthiopie et en Égypte. La lentille noire communément appelée «béluga» appartient à cette catégorie. La variété de lentille la plus répandue en France est la «lentille verte», qui se caractérise par sa peau sombre parsemée de noir et est renommée pour sa délicatesse. **(Jean pierecoligon)**

4.2. Groupe *Macrosperma* :

Les gousses possèdent une taille supérieure, allant de 6 à 9 mm de diamètre. Les téguments présentent une couleur vert clair ou légèrement jaunâtre, parfois avec des taches, tandis que les cotylédons sont d'une teinte jaune. Celui qui est le plus courant sur le marché est nommé « lentille blonde». On le retrouve principalement dans le sud de l'Europe, en Afrique du Nord ainsi qu'en Amérique. On cultive en France la «lentille rosée de Champagne», également appelée «lentillon de Champagne». Les cultivateurs qui tirent leur subsistance du commerce de cette lentille ont reçu une protection de l'appellation de l'INAO. **(Jean pierecoligon)**

5. Cycle de développement de la lentille

Dans des conditions idéales, les graines de lentilles présentent une germination en 5 à 6 jours. La floraison commence entre la sixième et la septième semaine suivant le semis, après quelques jours. La durée de croissance varie de 80 à 110 jours pour les cultivars à cycle court et de 125 à 130 jours pour ceux à cycle long **(Begiga, 2006)**. Cela comporte deux étapes. Phase végétative: cette étape se divise en deux phases distinctes: la croissance et la fabrication des feuilles. Phase de reproduction: elle se manifeste par la floraison, la formation des fruits et la production de graines (fig. 2) **(Schwartz et Langham, 2012)**.

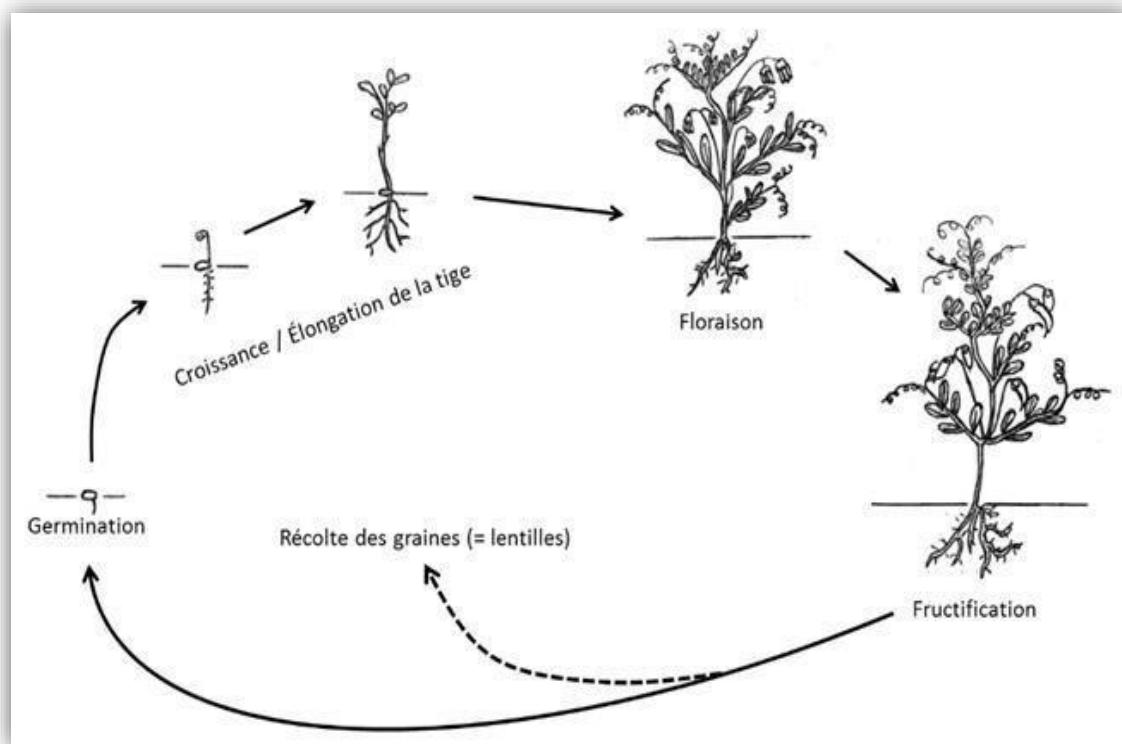


Figure 2: Cycle biologique de lentille Germination, Croissance. Élongation de la tige Floraison, Fructification, (Schwartz et Langham, 2012)

6. Génétique de la lentille

Lens culinaris est une plante diploïde qui possède 14 chromosomes ($2n = 14$) et un génome de taille considérable, dépassant les 4 Gb (Arumuganathan et Earle, 1991). L'hybridation naturelle entre la majorité des génotypes de *L. orientalis* et *L. culinaris* est courante. Malgré la possibilité que *L. culinaris* s'hybride avec d'autres espèces du genre *Lens*, ces unions sont généralement caractérisées par un taux élevé de non-viabilité embryonnaire, l'apparition d'embryons et de jeunes plants albinos, ainsi que des remaniements chromosomiques induisant la stérilité des hybrides lorsqu'ils atteignent leur maturité (**Ladizinsky, 1993**). À l'heure actuelle, les priorités majeures des programmes de sélection génétique de la lentille incluent l'amélioration du rendement ainsi que la résistance aux stress biotiques et abiotiques. **L'ICARDA** est l'autorité mondiale de référence en matière de recherche sur l'amélioration de cette culture. De plus, les programmes nationaux des nations productrices reposent sur leurs propres assemblages de ressources génétiques, en plus de faire appel à des introductions provenant d'autres

instituts. Ces efforts ont permis le développement et la commercialisation de nombreux cultivars (ICARDA, 2001).

7. Exigences pédoclimatique :

7.1. Sol :

Cette lentille prospère dans différents types de sols, tout en étant particulièrement adaptée aux sols légers et peu profonds. Pour sa culture, un pH se situant entre 6,0 et 8,0 est optimal. Une diminution de rendement se produit lorsque le pH dépasse 9, ce qui cause un ralentissement de la nodulation. On déconseille les sols extrêmement calcaires, très fertiles ou ayant une faible capacité de rétention d'eau. Pour garantir une croissance optimale, la lentille a besoin d'un sol propre et bien décompacté en profondeur (ITGC, 2013).

7.2. L'eau :

La lentille est sensible à l'asphyxie et supporte modérément la sécheresse. Elle se prête à la culture dans des zones où les précipitations annuelles oscillent entre 300 et 500 mm, et même 250 mm sur des sols denses. Toutefois, pendant le processus de formation et de remplissage des grains, un stress lié à l'eau peut induire un échaudage, ce qui entraîne des grains légers de qualité moindre et une diminution des rendements (ITGC, 2013)

7.3. La température :

La lentille tolère bien les basses températures pendant sa phase de croissance, mais elle est sensible aux gelées et aux chaleurs élevées durant la période de floraison. Le meilleur intervalle de température pour la germination va de 10°C à 30°C. (L'ITGC 2013) indique que des températures entre 22°C et 28°C, conjuguées à une humidité élevée, facilitent l'apparition des maladies.

8. Zone de culture et production de lentilles

8.1. À l'échelle mondiale

On estime que la production mondiale de lentilles atteint 2,8 millions de tonnes, ce qui est bien inférieur à celle du haricot, du pois et du pois chiche. Le sous-continent indien et le Proche-Orient et l'Amérique du Nord, sont les principaux lieux de production.

En 2010, le Canada s'est établi comme le principal producteur à l'échelle mondiale avec une production de 1,5 million de tonnes, ainsi que le premier exportateur au monde. Les quatre nations majeures en matière d'exportation (Canada, États-Unis, Australie et Turquie) (**Rapport sur le marché des lentilles, Agriculture et Agroalimentaire Canada**)

Tableau 1 : Production en tonnes de lentille pour l'année 2008 — Données issues de FAOSTAT (interrogation du 12 janvier 2011)

Pays	Productions en tonnes
Canada	1,043,200
Inde	810,000
Turquie	131,000
États_Unis Amérique	108,545
Éthiopie	94,103
Bangladesh	71,535
Iran	56,099
Syrie	34,100
Australie	64,234
Chine	150,000
Totale	2,827,170

8.2. En terre algérienne

CHAPITRE I : DESCRIPTION GENERALE DE LENTILLE

Avant 1830, la lentille était déjà cultivée dans les jardins des fellahs en Algérie, surtout en Kabylie. Selon une recherche menée jusqu'en 1940, il a été démontré que les lentilles trouvées en Afrique du Nord appartenaient à deux types européens : la petite verte du Puy et la lentille blonde large. Ces types, mis en place pour les cultures de grande envergure, ont cohabité, stimulant des hybridations naturelles qui ont entraîné la création de la lentille verte large d'Algérie (**Vandenberg et Slinkard, 1990**).

En Algérie, la culture des lentilles demeure marginale, ne représentant que 1,5 % des superficies dédiées aux légumineuses alimentaires (**Ait Abdellah et al. 2011**). Elle couvre principalement les hautes plaines (Tiaret, Saïda, Sétif) et les plaines internes (Bouira, Médéa, Mila), ainsi que la zone de Constantine. De 2006 à 2013, la production de lentilles a connu une augmentation progressive, atteignant un maximum de 15 523,04 quintaux. Cette croissance est attribuée à l'extension des superficies cultivées et à l'intérêt croissant des agriculteurs pour cette culture (Figure 03).

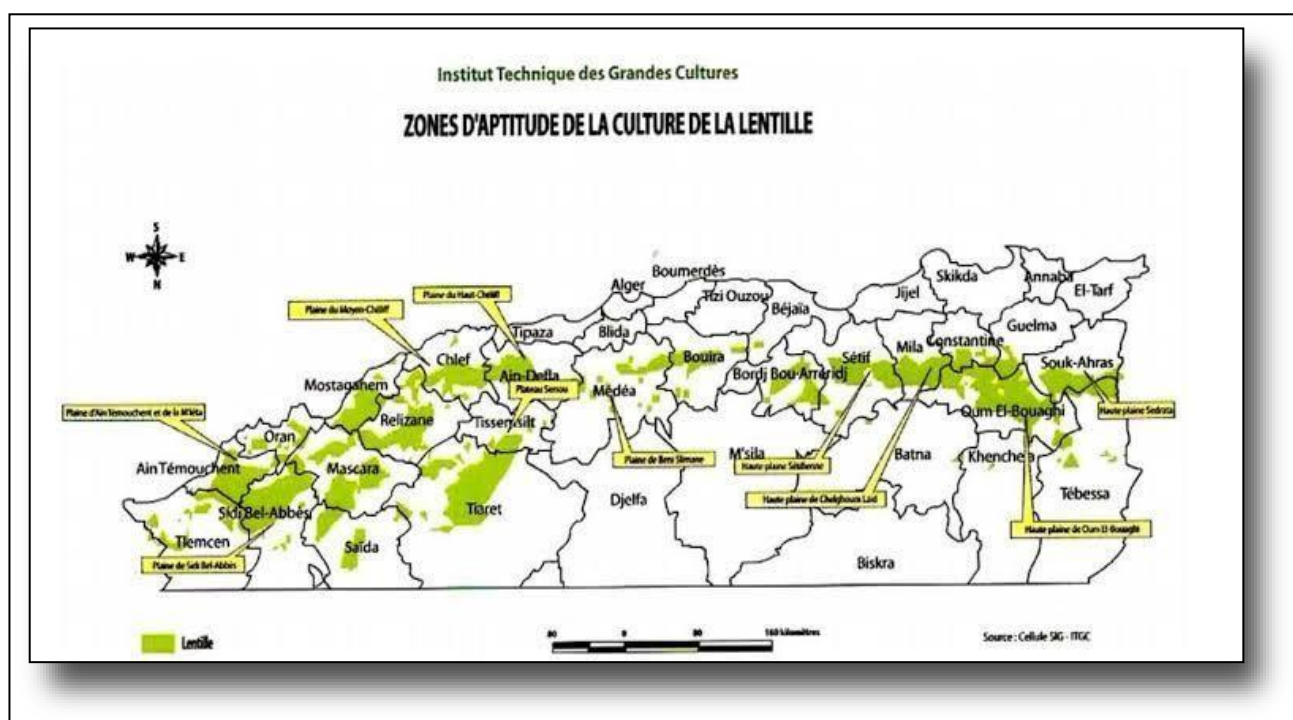


Figure 3: Zones d'aptitude de la culture de la lentille en Algérie (ITGC, 2013).

8.3 Les variétés cultivées en Algérie

En Algérie, on distingue les lentilles locales et celles d'origine européenne. Les variétés locales, cultivées depuis des siècles, présentent une grande diversité de formes, bien que certaines anciennes variétés aient disparu. Au fil du temps, plusieurs variétés ont été introduites et sélectionnées pour leur capacité à s'adapter aux conditions agro climatiques du pays (FAO, 2006 ; INRA, 2013).

Actuellement, les principales variétés cultivées sont les suivantes (ITGC, 2013) :

Large blond Métropole : isolée en 1942 en France, elle possède des graines verdâtres et offre une bonne qualité culinaire.

Large blond de Chili : isolée en 1952 au Chili, elle se caractérise par des graines larges, verdâtres et de bonne qualité culinaire.

Large vert d'Algérie : isolée en 1950 à Tiaret, elle est appréciée pour sa qualité culinaire.

Syrie 229 : issue d'une sélection locale à partir d'une population introduite de Syrie, cette variété possède des graines arrondies de couleur vert-jaune et est réputée pour sa très bonne qualité culinaire.

Balkan 755 : sélectionnée localement à partir d'une population introduite dans la région de Sersou, elle produit des graines larges de couleur marron et est également de bonne qualité culinaire.

9. Les avantages de lentille :

9.1. Pertinence agronomique :

La culture de la lentille, qui est une légumineuse, enrichit le sol en azote, améliorant ainsi sa fertilité. Cela diminue la nécessité d'engrais et encourage l'alternance des cultures avec des graminées et des légumineuses. Ces méthodes favorisent l'optimisation de l'agriculture et la diversification de la production (Hamadache, 2015).

9.2. Valeur nutritive :

La lentille offre une multitude de bénéfices nutritionnels (voir Tableau 2), dont Un indice glycémique faible, qui aide à procurer une sensation de rassasiement et à restreindre la libération d'insuline par le corps.avec une haute concentration en protéines végétales (approximativement 24 % à l'état brut et 8 % une fois cuite), elle constitue un plat complet pour un repas végétarien, surtout lorsqu'e le est servie avec des légumes.

Riche en vitamines. - Contient une quantité appréciable d'antioxydants (catéchines et procyanidines, qui font partie des flavonoïdes, ainsi que des saponines), dont certaines recherches mettent en avant leur rôle possible dans l'abaissement du niveau de triglycérides dans le sang. Cela renforce l'idée de consommer régulièrement des lentilles **(Ciquel, 2008)**.

Tableau 2 : Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de lentilles cuites (ciquels 2008)

Energie éléments minéraux vitamines	Protéine : 8,2 % Sodium : 3,0 mg Vitamine B10, 12 mg	Glucides : 12.6 % Potassium : 309 mg Vitamine B20, 06 mg
Lipides : 0,5 % Magnésium : 25 mg Vitamine B30, 66 mg	Phosphor: 164 mg Vitamins B50,47 mg	Fer : 3 mg Vitamine B60, 17 mg
Calcium: 27 mg Vitamine B956,8 µg	Cuivre : 0,24 mg Vitamine C1, 75 mg	Manganèse : 0,42 mg Vitamine E0,26 mg
Sélénium : 2,8 µg	Zinc : 1,03 mg	

10. Les ennemis de lentilles

10.1. Les maladies

Les agents pathogènes présents dans le sol infiltrent le système racinaire des végétaux, causant sa dégradation et engendrant un processus de jaunissement, de ralentissement de croissance ou de dessèchement des feuilles. Pour optimiser la rotation des cultures, il est crucial d'identifier leur présence sur un terrain.

Aphanomyceseuteiches, (Itab institut d agriculteurs fr 2020)

- **Fusarium et Phytophthora**(Itab 2020 Fr)

- **Le sclérotinia** (Itab 2020 Fr)

- **La rouille**

- **Les Viroses**

Plusieurs virus peuvent affecter la lentille, notamment :

Peaenationmosaic virus (PEMV)

Peaseed-borne mosaic virus (PSbMV)

Bean leaf roll virus (BLRV)

Beet western yellows virus (BWYV)

Ces virus sont principalement transmis par les pucerons, tandis que le ****PSbMV**** peut également être véhiculé par les semences. Pour limiter les risques, il est essentiel de surveiller les populations de pucerons dès le début du printemps, car plus l'infection est précoce, plus son impact sur le rendement est important (Itab 2020) botrytis : Le botrytis (*Botrytis cinerea*), également connu sous le nom de pourriture grise, se développe dans des conditions printanières particulièrement humides. Son traitement suit le même protocole que celui de l'ascochytose, avec une rigoureuse observance des délais avant la récolte **(ITAB 2020)**

10.2. Les ravageurs thrips et Sitone :

À surveiller en début de cycle Le thrips (*Thrips angusticeps*) et le sitone (*Sitona lineatus*) sont des nuisibles à surveiller dès le début du cycle, entre la germination et le stade. 4 feuilles de lentilles

Thrips : Cet insecte perce la plante et y insuffle une salive venimeuse, provoquant des déformations et un ralentissement de sa croissance. **(Terre inovia 2020)**

Sitone : L'adulte se nourrit des jeunes feuilles de lentille, néanmoins son influence sur la culture demeure restreinte. Par contre, les larves s'attaquent aux nodosités des racines, diminuant par conséquent la capacité de la plante à retenir l'azote, ce qui peut nuire à sa croissance.

Cécidomyie : un insecte qui se révèle difficile à observer.

L'acécidomyie : c'est un nuisible subtil dont l'identification est ardue, demandant une attention soutenue.

L'activité des cécidomyies commence 2 à 3 jours avant l'apparition des fleurs et se maintient jusqu'à leur floraison complète.

Il est essentiel d'intervenir sur les adultes avant la reproduction pour minimiser les dommages.

Comme l'observation de l'insecte peut s'avérer compliquée, il est conseillé d'installer une bassine jaune ou blanche dans les champs. Quand une infestation de cécidomyies se produit, la cuvette est envahie par des moucheron.

Bruche : Les graines de lentille, notamment *Bruchus signaticornis* en France, représentent une menace significative pour les lentilles. La femelle dépose ses œufs sur les jeunes gousses, et les larves se développent à l'intérieur des graines en y faisant des trous qui nuisent à leur qualité pour la consommation et la reproduction. Même si les bruches font leur apparition avant la floraison, le danger majeur commence lors de la formation des premières gousses et se maintient jusqu'à l'achèvement de leur croissance. **(Institut technique terre inovia 2020)**

Une activité accrue est favorisée par des températures dépassant les 19 °C sur plusieurs jours.

Les méthodes phytosanitaires actuelles ne garantissent pas une protection pendant toute la période à risque, rendant ainsi la gestion après récolte indispensable. Il est indispensable d'engager une bataille commune pour réduire de manière significative les populations.

Puceron vert : une vigilance renforcée lors des hivers doux (*Acyrtosiphon pisum*) envahit les champs dès le début du printemps. Il se nourrit de la sève des végétaux, ce qui entraîne leur déclin, et a la capacité de propager des virus aux jeunes lentilles, provoquant parfois des effets néfastes, comme on l'a vu au printemps 2020. **(Terreinovia 2020)**

11 .Intérêts des légumineuses alimentaires et de la Lentille

11.1. Intérêt agronomique et écologique :

La lentille, comme l'ensemble des légumineuses alimentaires, est capable de satisfaire ses besoins en azote par fixation symbiotique de l'N atmosphérique (grâce aux bactéries fixatrices présentes dans les nodules de ses racines) permettant ainsi l'amélioration de la fertilité des sols et réduisent l'apport des engrais synthétiques. (Journet et al., 2001 ; Baudoin et al., 2001).

11.2. Intérêt nutritionnel, sanitaire et propriétés chimiques :

Les lentilles représentent une source énergétique importante. Elles sont riches en fibres alimentaires (8 à 9 %), en glucides complexes (43 à 45 %) et contiennent peu de matières grasses (1 à 1,5 %). Leur teneur en protéines est élevée, variant de 18 à 30 %. Elles sont également une bonne source de vitamines du groupe B, ainsi que de minéraux tels que le calcium, le phosphore, le potassium et le magnésium. Par ailleurs, les lentilles ne contiennent pas de cholestérol et présentent un indice glycémique bas (**Boye et al., 2010**). Elles sont particulièrement riches en lysine, un acide aminé peu présent dans les céréales, et fournissent également des quantités importantes d'autres acides aminés essentiels tels que la leucine, l'isoleucine et la valine (**Baudoin et al., 2001**). Cependant, elles renferment certains facteurs antinutritionnels, notamment des inhibiteurs de protéases, des lectines, des phytates et des polyphénols. Malgré cela, leur consommation présente de nombreux bénéfices pour la santé humaine, notamment un meilleur contrôle du diabète, une réduction du risque de maladies cardiovasculaires et une diminution des risques de certains cancers (Boye et al., 2010).

11.3 .Intérêt économique :

Comme les autres légumineuses alimentaires, la lentille, lorsqu'elle est associée aux céréales, constitue un élément fondamental du régime alimentaire de nombreuses populations à travers le monde. Sa richesse en protéines en fait une excellente alternative aux protéines animales, souvent coûteuses ou difficiles d'accès. La culture de la lentille peut également contribuer à l'amélioration du revenu des exploitations agricoles, à la création d'emplois et à la réduction des importations. (Zaghouane, 2001)

Chapitre II

Stress salin

1. Définition de stress salin :

Stress salin fait référence à une surabondance d'ions, principalement, mais pas uniquement, des ions Na^+ et Cl^- (**Hopkins, 2003**). Le stress salin est causé par la présence de volumes significatifs de sels. Il diminue considérablement la disponibilité de l'eau pour les végétaux, on évoque alors un environnement «physiologiquement sec» (**Tremblun, 2000**). Selon (**Le vigneron et al. 1995**), le degré de salinité que les plantes peuvent tolérer dans le sol sans subir de préjudice significatif varie en fonction des familles, des genres, des espèces et des variétés examinées.

2. L'impact de la salinité sur la végétation :

La salinité est un des éléments restrictifs à l'expansion des plantes. Voici les conséquences de la salinité : L'interruption de la croissance, la dégradation des tissus sous forme de nécroses marginales, suivi d'une diminution de la turgescence, de la chute des feuilles et finalement de la disparition de la plante (**Zid, 1982**). La salinité a généralement un impact négatif sur le développement (**Gili, 1979 ; Elmekkaoui, 1990 ; Boukachabia, 1993**) et tend à réduire significativement la hauteur et le diamètre des tiges de diverses espèces, ainsi que la taille des fruits à mesure que la salinité s'accroît : c'est le cas du riz (**Khan et al. 1997**) et de la pomme de terre (**Bouaziz, 1980**)

2.1. L'impact de la salinité sur le processus de germination. :

Les graines de glycophytes et de halophytes réagissent de façon similaire face au stress salin, en diminuant le nombre total de germinations et en affichant un retard dans Le processus de germination est amorcé (**Ismail, 1990; Lachiheb et al. 2004**). Selon **Ungar (1978)** et **Kabar (1986)**, cités dans Debez et al. (2001), l'une des raisons de l'inhibition de la germination en présence de sel serait une fluctuation de l'équilibre hormonal. Par exemple, la germination du cotonnier diminue de 70% lorsqu'il est exposé à 12 g/l de chlorure de sodium (NaCl), et la germination des tubercules de pomme de terre peut être retardée entre 3 et 7 jours en fonction du niveau de salinité du sol (**Levigneron et al. 1995**). La présence du sel a un impact négatif sur la germination de la luzerne et peut complètement l'inhiber à des concentrations dépassant 15 g/l de NaCl (**Chaibi, 1995**). Suffisamment humides pour les ramener à leur niveau critique d'hydratation, indispensable au lancement du processus de germination, les effets toxiques sont causés par une accumulation cellulaire de sels qui entraîne des perturbations dans les enzymes participant à la physiologie des graines en

germination. Cela empêche également la sortie de dormance des embryons et entraîne une réduction de la capacité germinative **(Rejili et al. 2006)**

2.2. L'impact de la salinité sur la croissance et le développement

Le stress salin provoque des changements morphologiques, mais c'est la masse de la matière végétale sèche et la longueur des tiges qui reflètent l'environnement de tolérance. Ou sur la sensibilité des plantes au sel **(Bekhouche, 1992)**. D'après **(Levigneron et al. 1995)**, une hausse soudaine de la salinité du sol entraîne une diminution instantanée de l'expansion foliaire. La plupart des glycophytes présentent un retard de croissance significatif dès que la concentration en NaCl atteint 50 mM/l dans le sol. En revanche, chez les halophytes, leur croissance semble ne baisser que pour des concentrations nettement plus élevées; Par exemple, selon **(Brun 1980)**, *Atriplexhalimus* L. commence à réduire sa production à partir de 480 mM/l de NaCl. On identifie les manifestations morphologiques des plantes face au stress salin comme suit: - On observe une modification de la ramification, une réduction du diamètre des tiges et des racines chez les tomates; - Il y a un raccourcissement des entrenœuds et une diminution du nombre de nœuds; - Une baisse du nombre de feuilles **(Hamza, 1977)** ainsi que de la surface foliaire chez le haricot, qui peut varier entre 20% et 40% **(Larher et al. 1987)**.

Plusieurs éléments peuvent contribuer à un ralentissement de la croissance, notamment la diminution de la turgescence cellulaire, provoquée par le stress osmotique induit par les solutés. **(desserrant et Gaxiola, 1994.)** L'usage de composés carbonés et azotés pour des objectifs de protection et d'osmorégulation, au détriment de leur participation à la production de biomasse **(ALARCON et al., 1994)**. L'accumulation excessive d'électrolytes dans les tissus végétaux provoque un impact de toxicité **(Grouzis et al., 1976)**. L'absorption réduite d'ions essentiels tels que, par exemple, entraîne un déséquilibre nutritionnel. Il existe un lien entre cette accumulation excessive et des éléments tels que le K^+ , le Ca^{2+} ou le NO_3^- **(Gouzis et al., 1976, Haouala et al., 2007)**.

2.3. L'impact de la salinité Sur la photosynthese :

Le développement des plantes découle de l'intégration et de la régulation des processus physiologiques, le plus prépondérant étant la photosynthèse. Les impacts du stress salin sur la photosynthèse apparaissent après quelques heures et peuvent s'étendre jusqu'à un ou deux jours.

L'exposition au stress entraîne une interruption de l'assimilation du carbone. Quand l'exposition au sel s'étend sur plusieurs jours, une réduction de l'assimilation du carbone a été notée, ce qui pourrait être attribué à la concentration de sel dans les feuilles en croissance (**Munn et Termatt, 1986 in Parida et Das, 2005**). **Garg et Singla (2004)** ont également observé une diminution de la photosynthèse nette (PN), de la concentration interne en CO₂, de la conductivité stomatique et de la transpiration chez des plants de pois chiche exposés à un stress salin.

L'atténuation de la photosynthèse nette peut être attribuée à la fermeture des stomates, entraînant ainsi une réduction de la concentration de CO₂ à l'intérieur des cellules par restriction de son influx dans les feuilles (**Farissi et al., 2014**). Certains chercheurs ont démontré que plusieurs éléments sont à l'origine de la diminution de l'activité photosynthétique : le dessèchement des membranes cellulaires qui limite leur capacité à laisser passer le CO₂, la nocivité du sel, la diminution de l'approvisionnement en CO₂, grâce à la fermeture hydroactive des stomates, à l'augmentation de la sénescence provoquée par la salinité et à la modification de l'activité des enzymes résultant du changement dans la structure cytoplasmique. (**Iyengar et Reddy, 1996 cité dans Parida et Das, 2005**) .

2.4. L'impact de la salinité sur la morphologie de plante

2.4.1. L'impact de la salinité Sur la surface foliaire

L'effet du sel sur l'élargissement des feuilles est plus prononcé, entraînant une diminution significative de la surface foliaire en cas de présence de grandes quantités de NaCl. Les recherches de **Munns (1993)** démontrent que le sel influence l'assimilation du carbone en diminuant la surface des Feuilles plus en quantité que par la diminution du taux de photosynthèse. (**Abdely et al. 1995**) partagent également l'idée que la salinité a un impact négatif sur la surface des feuilles, tout en ne touchant pas les processus photochimiques de la photosynthèse. Ils soulignent que le facteur limitant de la croissance est l'expansion des feuilles. D'autres chercheurs ont démontré que les plantes réagissent différemment à un stress abiotique. Dans le contexte d'un stress salin, elles peuvent présenter des réactions telles qu'une réduction de la surface foliaire et une extension limitée. des organes aériens et leurs ramifications (**Ben Khaled et al., 2013**).

2.4.2. L'impact de la salinité sur Sur les racines

D'après **Levigneron et al. (1995)**, ce sont les racines qui réagissent en premier. D'après **BRUN** en 1980, une surabondance de sel dans l'environnement racinaire induit la formation de plantes de petite taille

La salinité a un impact moindre sur la masse racinaire comparativement aux limbes, aux lestiges et aux pétioles

2.4.3. L'impact de la salinité sur Les tiges :

L'excès de sel dans le sol diminue la taille des tiges (**Aberkane, 1992**). Selon **Bouzaidi et Salama (1978)**, la diminution de la hauteur de la tige du tournesol est de 30 cm.

2.4.4. L'impact de la salinité Sur les feuilles :

Des niveaux élevés de sel, comme le Ca^{++} , le Mg^{++} et les bicarbonates, entraînent des nécroses sur les feuilles, des décolorations et une diminution de la chlorophylle (**Saidoune, 2000**).

2.5. L'impact de la salinité sur le métabolisme de l'Azote

Selon **Delgado et al. (1993)** et **Flores et al. (2000)**, l'activité du nitrate réductase (NRA) se réduit dans les feuilles de diverses plantes en période de stress salin. La diminution de la NRA dans les feuilles est liée à l'existence de l'ion Cl^- dans l'environnement externe. Cet effet du Cl^- .L'activité de la nitrate réductase paraît être affaiblie par une diminution de l'absorption du NO_3^- , ce qui entraîne une concentration moindre de NO_3^- dans les feuilles, et par extension, un apport réduit d'azote pour la plante (**Flores et al. 2000**). Une autre recherche menée sur les légumineuses a montré que l'exposition des racines nodules au NaCl entraîne une diminution rapide de la croissance végétale, ce qui est lié à la fourniture d'azote indispensable à la croissance (**Parida et Das, 2005**).

2.6. L'impact de la Salinité sur les Processus Physiologiques des Plantes :

Un excès de sel a des conséquences profondes sur le fonctionnement interne des plantes. Au niveau cellulaire, il entraîne des modifications de la balance ionique dans le protoplasme, ce qui perturbe le bon fonctionnement des enzymes, des membranes et d'autres macromolécules essentielles. Cette perturbation cellulaire réduit la capacité de la plante à

produire de l'énergie efficacement via la phosphorylation et la photo respiration. De plus, l'assimilation de l'azote est compromise et de nombreuses voies métaboliques sont dérégulées (**BABA SIDI-KACI,2010**).

Lorsque la concentration en sel dépasse le seuil de tolérance d'une plante, ses fonctions vitales sont gravement affectées. La photosynthèse est directement impactée car le sel dans le stroma des chloroplastes perturbe le transport des électrons. Des processus clés de production d'énergie comme la glycolyse et le cycle de Krebs sont également affectés. La capacité de la plante à absorber des nutriments minéraux cruciaux comme le potassium, les nitrates ou le calcium est réduite. Ces stress physiologiques se manifestent visuellement par la production d'anthocyanes (souvent une coloration rougeâtre ou violacée) ou la destruction de la chlorophylle (entraînant un jaunissement).

Bien que certaines halophytes (plantes tolérantes au sel) puissent voir leur croissance stimulée par un apport modéré de sel, cet avantage est limité par leur niveau de tolérance spécifique. Un stress salin extrême conduit à un nanisme et à une inhibition de la croissance. Les feuilles peuvent devenir sclérosées (durcies et coriaces) prématurément, et l'organisme entier risque de dépérir rapidement (**Baba sidi-kaci, 2010**)

2.7. L'impact de la salinité sur le comportement biochimique de la plante :

Le stress salin déclenche des modifications biochimiques profondes au sein de la plante. Il altère le modèle d'expression des gènes, entraînant des changements qualitatifs et quantitatifs dans la synthèse des protéines (**Reynolds et al., 2001**).

Au niveau de la membrane cellulaire, la salinité perturbe la composition lipidique et protéique, ce qui compromet sa stabilité (**Alem et Amri, 2005**). Des concentrations élevées de sel inhibent principalement le métabolisme cellulaire et la photosynthèse (**Tremblin etCoudret, 1986**). Cette inhibition est due à un stress osmotique imposé à la cellule (**Hayashi et Murat, 1998**), ainsi qu'à la toxicité directe du sodium et du chlorure dans le cytoplasme (**Niu et al., 1995**).

Face à ce stress, on observe chez diverses espèces végétales, qu'elles soient plus ou moins résistantes, une augmentation des sucres totaux. Ce phénomène résulte soit d'un blocage de la glycolyse, soit d'une forte hydrolyse de l'amidon produisant du saccharose (**Asloun, 1990**).

Par exemple, l'accumulation de sucres solubles est particulièrement marquée dans les feuilles des plantes d'*Atriplexhalimus* L. et d'*Atriplexcanescens* (Pursh) Nutt. Soumises à un stress salin (**Hadjadj, 2009**).

3. Mécanismes de résistance des végétaux au stress

Les mécanismes de tolérance aux contraintes sont définis par LEVITT qu'à partir de la distinction entre « stress » et « strain ». Il distingue :

- **Les mécanismes qui permettent à une plante d'éviter le « stress »** : on parle alors d'échappement (**Anonymme, 2011**) Ces mécanismes réduisent l'impact d'un stress bien qu'il soit présent dans l'environnement. (**Hopkin, 2003**).
- **Les mécanismes qui permettent de tolérer le « stress »** : la tolérance exige que l'organisme soit en équilibre thermodynamique avec le stress, ce qui signifie que les conditions qui règnent dans la plante sont en équilibre avec les conditions de l'environnement externe (**Hopkin, 2003**)

3.1. Tolérance des Plantes aux Stress Biotiques

Les plantes sont constamment exposées à des agressions biotiques, c'est-à-dire des attaques impliquant d'autres organismes vivants. Il peut s'agir d'herbivores comme les insectes, ou d'agents infectieux tels que les champignons, les bactéries et les virus (**Hammond et al., 1996**). Au fil de l'évolution, les plantes ont développé des systèmes de défense sophistiqués leur permettant de résister à ces agents pathogènes (**Audrey, 2007**). C'est pourquoi le développement d'une maladie est plus souvent l'exception que la règle.

Les interactions hôte-pathogène chez les plantes ont fait l'objet d'études approfondies ces dernières années. Ces recherches ont exploré ces interactions à tous les niveaux : physiologique, enzymatique, métabolique et moléculaire (**Nurnberger et al. 2004 ; Somssich et Hahlbrock, 1998**).

3.2. Mécanisme de défense aux stress abiotique :

3.2.1. Stress salin :

Quand une plante est soumise à un stress salin, un processus de transduction de signal se met généralement en marche. Ce processus débute par la perception du signal au niveau de la membrane cellulaire (avec ou sans l'aide d'un capteur spécifique). Cette perception est suivie

par la production de seconds messagers et de facteurs de transcription. Ces derniers ont pour rôle de contrôler l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress, entraînant des changements morphologiques, biochimiques et physiologiques au sein de la plante.

Selon(**Levite 1980**), on peut distinguer deux principaux types d'adaptation des plantes face au stress :

Adaptation élastique (ou capacité d'adaptation) : Ce type d'adaptation permet à un organisme de vivre, de croître et de compléter son cycle de vie même en présence du stress.

La plante est capable de "s'étirer" et de fonctionner malgré la contrainte.

Adaptation plastique (ou résistance à l'adaptation) : Ici, le stress inhibe la croissance de la plante. Tous les dommages qui en résultent sont irréversibles, et ce, jusqu'à la disparition partielle ou complète de l'agent stressant. La plante subit des altérations durables.

Si l'adaptation est de type élastique, elle génère des stratégies de résistance spécifiques.

LEVITT (1980) distingue deux stratégies de résistance particulières.

•La résistance par exclusion

- L'organisme inhibe ou réduit la pénétration du stress dans ses tissus.
- L'organisme augmente ainsi le niveau de stress nécessaire pour un même niveau détensions interne,

•Résistance par Tolérance/Inclusion

Dans cette stratégie, la plante absorbe l'agent stressant (le sel) afin de rétablir un équilibre thermodynamique avec son environnement. Malgré l'absorption du sel, l'organisme parvient à poursuivre sa croissance sans subir de dommages irréversibles. Essentiellement, la plante réduit sa tension interne pour mieux gérer le même niveau de stress.

•Résistance par Exclusion

Considérée comme une évolution par rapport à la tolérance, la résistance par exclusion implique que la plante ne cherche pas à atteindre un équilibre thermodynamique en réduisant sa tension interne. Au lieu de cela, elle s'efforce de préserver ses fonctions métaboliques à leur

optimum en empêchant l'entrée ou en limitant l'accumulation du sel, favorisant ainsi une meilleure croissance (LEVITT, 1980).

•La Recirculation : Une Stratégie Intermédiaire

Plus récemment, une troisième stratégie, la recirculation, a été identifiée chez *Arabidopsisthaliana* (Berthemieu et al. 2003). Cette approche se situe entre l'exclusion et l'inclusion.

Le sodium (Na^+) est absorbé et transporté jusqu'aux parties aériennes de la plante.

Cependant, il est ensuite activement "ré-pompé" et reconduit via le phloème vers les racines. Une fois dans les racines, les ions sodium peuvent être excrétés hors de la plante. Cette stratégie permet à la plante de gérer l'entrée de sel tout en évitant son accumulation excessive dans les parties vitales comme les feuilles.

3.3. La réponse physiologique à la salinité :

La tolérance de la salinité est l'habilité des plantes à croître et compléter leur cycle de vie sur un substrat contenant la forte concentration de sel soluble.

Il est cru que pour la protection des processus évolués, des mécanismes de faible complexité sont induits de façon coordonnée (Parida et al., 2005).

3.4. Homéostasie Cellulaire Face au Stress Salin :

En présence de conditions salines, les cellules végétales maintiennent leur homéostasie ionique grâce à plusieurs stratégies essentielles :

- * **Exclusion des ions Na^+** : Les cellules éliminent activement le sodium, principalement via des antiports Na^+/H^+ (des pompes protéiques qui échangent le sodium contre des ions hydrogène), ou en limitant son entrée initiale dans la cellule.

- * **Compartmentation du Na^+ dans les vacuoles** : Le sodium est séquestré à l'intérieur des vacuoles intracellulaires. Cette stratégie permet d'isoler les ions toxiques du cytoplasme, contribuant ainsi à l'ajustement osmotique de la cellule sans nuire aux mécanismes cellulaires sensibles.

* **Sécrétion du Na^+** : Certaines plantes sont capables d'excréter activement les ions sodium de leurs tissus.

En somme, la régulation du transport ionique est un mécanisme fondamental pour la tolérance au sel chez les plantes. L'étude génétique du mutant SOS (**Salt Overly Sensitive**) d'*Arabidopsis thaliana* a d'ailleurs permis d'identifier les mécanismes spécifiques, connus sous le nom de voie SOS, qui régulent l'homéostasie cellulaire et la tolérance au sel (**Zhu, 2002**).

3.5. Prélèvement de Potassium (K^+) :

Les plantes maintiennent naturellement un ratio élevé de potassium (K^+) sur sodium (Na^+) dans leurs cellules, ce qui est crucial pour le bon fonctionnement des processus biochimiques. Cependant, le stress salin perturbe cet équilibre en diminuant ce ratio, car les ions Na^+ entrent en compétition avec les ions K^+ , ce qui est nuisible à la cellule.

Une concentration élevée de K^+ est également essentielle pour la turgescence cellulaire et pour permettre à l'eau de pénétrer dans la plante depuis l'extérieur, augmentant ainsi le potentiel osmotique (**Claussen et al. 1997**). Par conséquent, l'absorption de K^+ est vitale pour la survie des cellules et le maintien des processus biochimiques, même en présence de sel.

La capacité d'une plante à absorber le K^+ sous stress salin est probablement liée au niveau de transcription des gènes qui codent pour les transporteurs de K^+ . Par exemple, chez l'*Arabidopsis*, le stress salin augmente l'expression du gène *AtKC1*, qui est un transporteur de K^+ (**Pilot et al. 2003**).

3.6. Biosynthèse des Osmoprotectants :

Sous stress salin, les plantes réagissent en augmentant l'expression des gènes impliqués dans la production d'osmoprotectants (**Zhu, 2002**). Ces substances sont essentielles car elles aident les plantes à faire face au sel de plusieurs façons :

Ajustement osmotique : Ils aident les cellules à maintenir leur équilibre hydrique, assurant ainsi la turgescence cellulaire (la rigidité des cellules, essentielle à la plante).

Détoxication des ROS : Ils neutralisent les espèces réactives de l'oxygène (ROS), des molécules nocives produites en période de stress.

Stabilisation des protéines : Ils protègent et stabilisent la structure des protéines, garantissant leur bon fonctionnement.

En somme, les osmoprotectants sont des molécules clés qui permettent aux plantes de survivre et de fonctionner correctement dans des environnements salins.

3.7. Protéines Induites par le Sel :

Sous stress osmotique, les plantes supérieures produisent diverses protéines dans leurs tissus végétatifs, appelées protéines LEA (Late-Embryogenesis Abundant).

Chez la plante *Medicago sativa* (luzerne), le gène *Alfin1* est particulièrement intéressant. Il code pour une famille de facteurs de transcription, et son expression est directement liée à la tolérance au sel de la plante (**Winicov et Bastola, 1999**). Des études *in vitro* ont montré qu'*Alfin* se fixe au promoteur du gène *MsPRP2*. Ce gène est responsable de la production d'une protéine du cytosquelette racinaire, qui est elle-même induite par la présence de sel.

En d'autres termes, *Alfin* joue un rôle clé en activant la production de protéines spécifiques qui aident les racines à faire face au stress salin.

3.8. Régulation de la Croissance Racinaire Face au Stress Salin :

Dans un environnement où l'eau est peu disponible, comme c'est le cas avec le stress salin, maintenir une croissance racinaire active est une stratégie d'adaptation cruciale pour les plantes.

L'allongement des racines peut être favorisé par plusieurs mécanismes :

- * Une augmentation de l'activité des enzymes qui construisent le cytosquelette, comme la xyloglucan-endotrans-glycosylase (**WU et al., 1994**).
- * L'accumulation de proline, un osmoprotectant (**Ober et Sharp, 1994**).

Ces deux processus sont régulés par l'acide abscissique (ABA), une hormone végétale dont la production est stimulée par le stress salin (**Jia et al. 2002**).

Des études sur le maïs ont montré que l'élongation racinaire est bloquée en présence d'un inhibiteur de la biosynthèse d'ABA. Cependant, cette élongation peut être rétablie si les racines sont traitées avec un inhibiteur de la synthèse d'éthylène. Ces observations suggèrent

CHAPITRE II : STRESS SALIN

que l'ABA favorise l'allongement des racines en inhibant la production d'éthylène (**Spollen et al. 2000**).

Chez l'*Arabidopsis*, l'ABA joue également un rôle central dans la régulation de la division et de l'élongation cellulaire sous stress salin (**Wang et al. 1993**).

Patrie II

Partie Expérimentale

Chapitre III

**Description du matériel employé et des méthodes
appliquées au cours de l'expérimentation**

1. Objectif de l'étude :

Le présent travail vise à évaluer la tolérance de la lentille (*Lens culinaris*) à un potentiel hydrique faible induit par un stress salin, à travers l'analyse de divers paramètres liés à l'ajustement osmotique, principalement biochimiques. Cette étude a pour but de mieux comprendre les mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués dans la résistance de cette espèce aux conditions salines.

Les paramètres de tolérance évalués sont répartis comme suit :

- **Paramètre physiologique :**
 - Teneur relative en eau (RWC)
- **Paramètres biochimiques :**
 - Dosage des sucres solubles
 - Dosage de la proline
 - Dosage des protéines

3. Matériel végétal :

Quatre génotypes de lentille (*Lens culinaris*), issus de régions géographiques différentes et présentant des niveaux de tolérance variables au stress salin, ont été utilisés dans cette étude. Il s'agit d'un génotype local (Syrie 229), deux génotypes de lentille rouge originaires du Canada (lentille rouge décortiquée et lentille rouge méthodique), et d'un quatrième génotype constitué de semences triées (8-9) en provenance de Russie.



Figure 04 : les quatre variétés utilisées.

CHAPITRE III : DESCRIPTION DU MATERIEL EMPLOYE ET DES METHODES APPLIQUEES AU COURS DE L'EXPERIMENTATION

Tableau 03 : les sources principales du matériel végétal employé

N	Variété	origine	Cycle végétatives
01	Lentille rouge décortique	canada	Précoce (< 90 jours)
02	Lentille syrie229	local	Précoce (< 90 jours)
03	Lentille rouge mitotique	canada	Semi-précoce (90– 110 jours)
04	Lentille semence triée (8-9)	Russie	Tardive (> 110 jours)

3. Conditions de l'expérimentation :

3.1. Localisation de l'essai :

L'expérimentation a été réalisée dans une serre semi-automatisée au niveau de la Université de Tiaret, Faculté des Sciences Naturelles et de la Vie. Les tests sont effectués avec des températures nocturnes approximativement à 15°C et diurnes à 20°C, dans une atmosphère d'humidité relative d'environ 70%.



Figure 05 : Site Expérimentale

3.2. Conditions et gestion de la culture :

3.2.1 Germination des graines :

La germination a commencé par une phase de pré-germination. Seize boîtes de Pétri en plastique ont été préparées, étiquetées et tapissées de papier filtre. Les graines ont été désinfectées avec une solution d'eau de Javel à 5 % pendant 2 à 3 minutes, puis soigneusement rincées deux fois avec de l'eau distillée pour éliminer tout résidu de désinfectant.

Vingt graines ont été placées dans chaque boîte. Pour chaque génotype, quatre boîtes ont été utilisées. Les boîtes ont été placées dans une étuve à 25 °C. Une première humidification a été réalisée avec 25 ml d'eau distillée par boîte, puis un arrosage quotidien de 10 ml a été maintenu.



Figure 06 : Désinfection des graines de lentille pour pré germés.

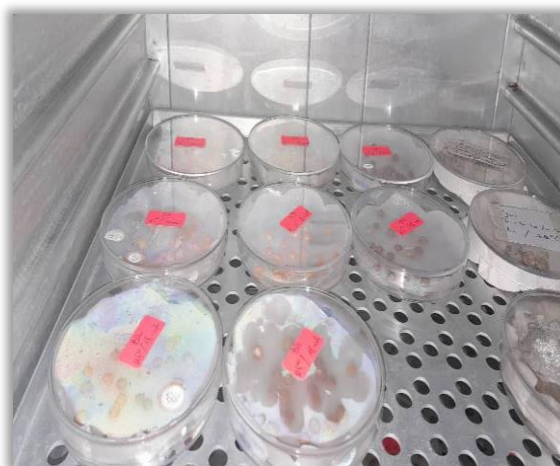


Figure 07 : les boîtes pétris étiqueté placée à l'étuve.

Dès l'apparition de la coléoptile, les jeunes plantules ont été transplantées dans des plaques à alvéoles remplies de terreau, puis placées dans une chambre de culture. L'arrosage a ensuite été réalisé régulièrement avec de l'eau du robinet. La germination s'est déroulée à température ambiante, dans des conditions contrôlées favorisant le bon développement des plantules.



Figure 08 : Transplantation des graines germées à des alvéoles.

3.2.2. Transfert et replantation des plantules :

Dès que les plantules ont atteint un développement suffisant, elles ont été délicatement extraites des plaques à alvéoles, puis transplantées dans des pots préalablement préparés, à raison de deux plantules par pot.

CHAPITRE III : DESCRIPTION DU MATERIEL EMPLOYE ET DES METHODES APPLIQUEES AU COURS DE L'EXPERIMENTATION

La culture a ensuite été poursuivie dans un environnement semi-contrôlé, offrant des conditions favorables à leur croissance.



Figure 09 : Les jeunes plantules de lentille

3.2.3. Préparation du substrat et capacité de rétention en eau :

Des pots en plastique d'une capacité de 5 litres, mesurant 21 cm de hauteur et 25 cm de diamètre, ont été utilisés pour la culture. Chaque pot a été doublé d'une fine couche intérieure (film plastique) pour limiter les pertes d'eau par infiltration. Une couche de gravier a été placée au fond pour assurer un bon drainage, puis chaque pot a été rempli avec environ 3 kg de sable. Le substrat ainsi constitué présentait une **capacité de rétention en eau estimée à 14 %** (ou **400 ml/pot**), déterminée expérimentalement. Cette valeur a servi de base pour ajuster l'irrigation à **100 % de la capacité au champ** dans l'ensemble des traitements.

3.2.4. Réalisation de l'expérience et Conception du plan expérimental :

L'essai de la campagne a commencé le 03/03/2025 conformément à un plan factoriel intégral impliquant trois facteurs (variété, concentration de NaCl et répétition), comprenant un total de 48 pots. Les pots ont été disposés en quarts traitements, un traitement témoin (0 mM NaCl) et de trois autres avec trois niveaux de salinité (50, 100 et 150 mM de NaCl). Au niveau de chaque traitement, chaque génotype est répété trois fois.

CHAPITRE III : DESCRIPTION DU MATERIEL EMPLOYE ET DES METHODES APPLIQUEES AU COURS DE L'EXPERIMENTATION

Tableau 4 : Différentes concentration de solutions salines

La concentration en (mM)	0	50	100	150
NaCl en (g /l)	0	2,925	5.84	8.77



Figure 10: Vue générale de l'essai

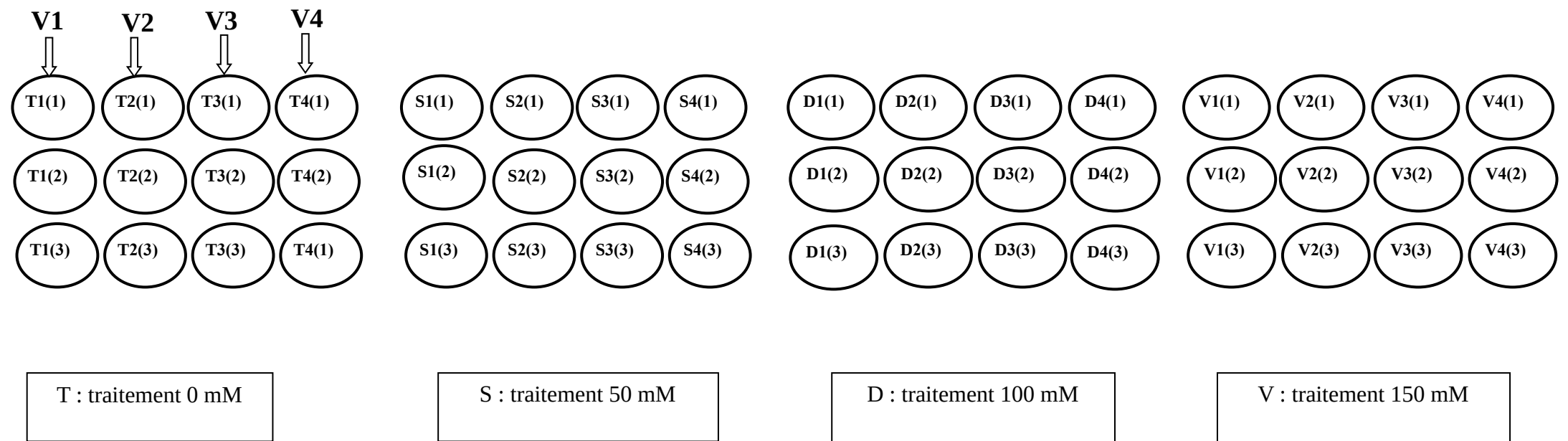


Figure 11 : Dispositif expérimental

CHAPITRE III : DESCRIPTION DU MATERIEL EMPLOYE ET DES METHODES APPLIQUEES AU COURS DE L'EXPERIMENTATION

3.2.5. Irrigation et application du stress salin :

Après le repiquage des plantules, toutes les plantes, quel que soit le traitement, ont été irriguées à 100 % de la capacité au champ. Elles ont reçu 3 à 4 arrosages par semaine avec de l'eau du robinet.

Le stress salin a été induit pendant le stade végétatif, avant l'apparition des fleurs, par l'ajout de chlorure de sodium (NaCl) à l'eau d'irrigation selon quatre concentrations différentes. Ce stress a été appliqué pendant trois semaines, à raison de deux arrosages par semaine. Une fois par semaine, l'eau d'irrigation a été remplacée par une solution nutritive commerciale (ACTIVEG).

Tableau 5: compositions de la solution nutritive

Compositions	Eléments	Teneurs
Eléments majeurs	N	20%
	P ₂ O ₅	20%
	K ₂ O	20%
Oligo-éléments	MgO	0.4%
	Fe	650 ppm
	Mn	650 ppm
	Mo	50 ppm
	SO ₃	0.8%
	Cu	60ppm
	Zn	300ppm
	B	300ppm

3.2.6. Le contrôle phytosanitaire :

Durant l'expérimentation, les plantes touchées par l'insecte puceron (un insecte qui dégrade les feuilles de lentille) ont nécessité un traitement avec un produit insecticide : le FAST Esfenvalérate 5%.

4. Paramètres de tolérances examinées :

4.1. Paramètres physiologiques

4.1.1. La teneur relative en eau

L'état hydrique des plantes est évalué par des mesures de la teneur relative en eau (TRE).

La teneur relative en eau est mesurée sur la dernière feuille bien développée selon la méthode de **Barrs et Weatherley (1961)**. Les valeurs de la (TRE) sont déterminées à partir de la formule :

$$TRE = (Pf - Ps) / (Pr - Ps) \times 100$$

Où **Pf** représente le poids frais (limbe de la feuille excisé à sa base et immédiatement pesé), **Pr** est le poids de réhydratation (feuille coupée et placée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée, Pendant 24 heures à 4°C), **Ps** est le poids sec déterminé après passage de l'échantillon dans une étuve à 80°C pendant 48 heures.

4.2. Paramètres biochimiques :

4.2.1. Dosage des sucres totaux :

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol de (**Dubois et AL1956**). Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche, placées dans des tubes à essais, on ajoute 3 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres. On laisse à température ambiante pendant 48h à l'obscurité.



figure 12: L'extraction des sucres dans l'éthanol 80%

Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube on ajoute 20ml d'eau distillée à l'extract. C'est la solution à analyser.

Dans des tubes à essais propres, on met 2ml de la solution à analyser, on ajoute 1ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée); on ajoute rapidement 5ml d'acide sulfurique concentré 96% tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. On obtient, une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10mn et on les place au bain-marie pour 10 à 20mn à une température de 30°C (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures.).

CHAPITRE III : DESCRIPTION DU MATERIEL EMPLOYE ET DES METHODES APPLIQUEES AU COURS DE L'EXPERIMENTATION



Figure 13 : Coloration du mélange

Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 485 nm. -La courbe d'étalonnage est réalisée selon l'équation suivante : $Y = 3,868X$.

L'expression de la concentration des sucres solubles est faite en mg/gMF.



Figure 14 : Spectrophotomètre

4.2.2. Dosage de la proline

On mesure la proline en suivant la méthode de **Troll et Lindesly (1955)**, adaptée par **Monneveux et Nemmar (1986)**. La quantification de la proline, un acide aminé, est effectuée grâce à la couleur rouge distincte qui résulte de sa réaction avec la ninhydrine dans un environnement acide. L'intensité de cette coloration est directement liée à la quantité de proline contenue dans l'échantillon.

On introduit 100 mg de matière végétale fraîche (feuilles et racines) dans des tubes en plastique, puis on ajoute 5 ml de méthanol à 40%. Après avoir fermé les tubes pour prévenir l'évaporation de l'alcool, on les chauffe dans un bain-marie à une température de 85 °C pendant une durée d'une heure.

Après avoir été refroidi, 1 ml de l'extrait est pris de chaque tube. On y ajoute 1 ml d'acide acétique (CH_3COOH), 25 mg de ninhydrine, et 1 ml d'un mélange qui comprend : 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique et 80 ml d'acide ortho phosphorique (H_3PO_4 densité 1.7). Les tubes sont soumis à une ébullition au bain-marie pendant une demi-heure, période durant laquelle la teinte de la solution passe graduellement au rouge.



Figure 15 : Coloration de solution durant le dosage de proline

CHAPITRE III : DESCRIPTION DU MATERIEL EMPLOYE ET DES METHODES APPLIQUEES AU COURS DE L'EXPERIMENTATION

Suite au refroidissement, on ajoute 5 ml de toluène et après avoir agité les tubes à l'aide d'un vortex, deux phases distinctes apparaissent. La phase supérieure renfermant la proline est récupérée et déshydratée grâce à l'ajout de 5 mg de sulfate de sodium

Les échantillons sont conservés en position stationnaire pendant 48 heures, et la densité optique des échantillons est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm. Le blanc est une combinaison de (acide acétique, eau distillée, acide ortho-phosphorique et La quantité de proline (mg/gMF) est déterminée à l'aide de l'équation suivante : $y = 5,3155 x - 0,0139$

4.2.3 Dosage des protéines :

La méthode retenue pour le dosage des protéines totales est celle de **Bradford (1976)** qui utilise la BSA (Sérum d'Albumine de Bovin) comme standard. Elle consiste à prendre 1 g du matériel végétal, chaque échantillon est broyé avec 5 ml d'eau distillée puis filtré et versé dans un tube à essai contenant 5ml d'eau distillée. Pour le dosage on prend 0,2 ml de réactif Bradford avec 0,2 ml de la solution à analyser et 1,6 ml d'eau distillée (bien agiter au vortex). Parallèlement, il est préparé un essai de contrôle en utilisant 0,2 ml d'eau distillée ; après 5min à une heure on procède à la lecture de l'absorbance à 595nm.

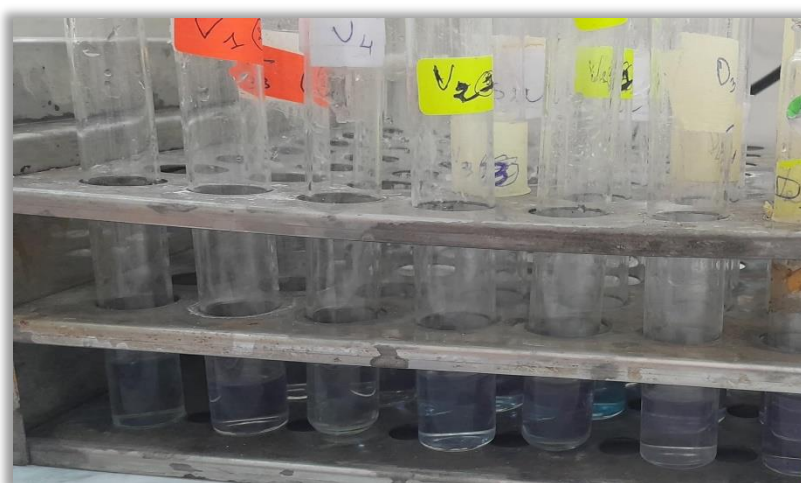


Figure16: Dosage des protéines totales

Enfin des résultats des densités optiques sont rapportés sur un courbe étalon selon l'équation suivante : $y = 0,971 x$. La concentration des protéines est exprimée en **mg/gMF**.

Chapitre IV

Analyse et discussion des résultats relatifs à l'impact du stress salin sur la lentille

1. paramètres physiologiques

1.1. Teneur relative en eau

Les résultats obtenus de la teneur relative en eau (Table6) varient significativement sous l'effet des variations de traitement salin ,nature des génotypes testés et leur interaction. En effet, l'application du traitement salin s'accompagne d'une importante diminution de la teneur relative en eau ($r=-0,61$) chez l'ensemble des génotypes testés.

Tableau 6: Effet du génotype, de traitement stress salin et de leurs interactions sur le paramètre physiologiques mesurés chez les 3 génotypes.

Paramètre	Effet du génotype	Effet traitement	Génotype*traitement
	Test F	Test F	Test F
RWC	4,244*	22,192***	3,276**

Les différents effets sont exprimés statistiquement par le test F.

** : Effet significatif au seuil de 1% ; *** : effet significatif au seuil de 0.1% ; * effet significatif au seuil de 5% ; NS : effet non significatif ;

, * = seuil de signification à 1 et 0.1 % respectivement

Au niveau du lot témoin (0 mM), les valeurs de la TRE (Tableau 6) varient entre 82,06 % pour la Variété semence triée (8-9) et 93,42 % pour la Variété rouge décortiqué. L'application du stress salin (50 mM) entraîne une diminution de la TRE, dont l'ampleur varie selon les génotypes. La Variété rouge décortiqué enregistre la plus forte baisse, estimée à 25,29 %, tandis que les Variétés rouge Métotique, Syrie 229 et semence triée (8-9) présentent des réductions plus modérées, avec des taux de diminution respectifs de 0,19 %, 4,08 % et 5,43 %.

Au niveau du lot (100 mM) les diminutions de la TRE s'avèrent la plus marquantes où le taux de diminution a été estimé à 34,78%. Ainsi, on note que le génotype rouge décortiqué se distingue parmi la collection en inscrivant la plus faible de diminution (10,44%) et à l'opposé,

CHAPITRE IV: ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS RELATIFS A L'IMPACT DU STRESS SALIN SUR LA LENTILLE

le géotype Syrie 229 s'avère-le plus affecté à ce niveau traitement en inscrivant la plus haute valeur avec 49,70 %.

Pour le traitement à 150 mM, la Variété Syrie 229 présentes la plus forte diminution de TRE (39,44 %), contrairement à rouge métotique, qui montre une faible baisse de 17,76 %.

Tableau7: Résultats moyenne de la teneur relative en eau chez les géotypes testés et sous les quatre traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150 mM NaCl)

Géotype	Traitement salin	RWC(%)	RWC Std. Errs
lentille rouge décortiqué	0 mM	93,43	1,38
	50 mM	69,79	11,52
	100 mM	83,67	2,36
	150 mM	65,60	9,38
lentille Syrie 229	0 mM	83,48	7,68
	50 mM	80,08	8,57
	100 mM	41,99	7,20
	150 mM	50,56	2,25
lentilles semence triée (8-9)	0 mM	82,06	0,88
	50 mM	77,60	6,22
	100 mM	50,51	3,11
	150 mM	62,48	5,89
lentille rouge Métotique	0 mM	82,87	3,90
	50 mM	82,71	0,45
	100 mM	49,28	2,28
	150 mM	68,15	2,68

2. Paramètres biochimiques :

2.1. Taux de sucres

L'expression du taux de sucres (Tableau08), est significativement influencé par la nature des génotypes et de manière encore plus marquée par le traitement appliqué et indépendante de leur interaction, l'application du traitement salin augmente le Taux de sucres ($r=0,54$) chez l'ensemble des génotypes testés.

Tableau 08 : effet du génotype, de traitement stress salin et de leurs interactions sur les paramètres biochimiques mesurés chez les 3 génotypes.

Paramètre	Effet du génotype	Effet traitement	Génotype*traitement
	Test F	Test F	Test F
Taux des sucres	4,5852**	7,2650***	0,6235 ns
Teneur en protéine	3,49*	3,69*	1,15 ns
Teneur en proline	2,8080 ns	8,5635***	1,6425 ns

Au niveau du lot témoin (0 mM), les résultats moyens de la teneur en sucres (Table0) s'échelonnant entre $13,57 \pm 2,55$ mg/gMF valeur inscrite par la variété rouge décortiqué et $8,30 \pm 0,22$ mg/g MF observée chez la variété rouge Métotique. Au niveau du lot 50 mM, l'augmentation des taux d'accumulation des sucres simples s'avèrent plus élevées chez les génotypes rouge Métotique et semence triée (8-9) avec des valeurs de 31,46%, 29,32%. Sous le même traitement salin, le génotype syrie 229 inscrits la plus faible augmentation des sucres avec de progression de 1,83%

Pour le lot à 100 mM, les augmentations les plus significatives du taux de sucres ont été observées chez les génotypes semence triée (8-9) et rouge Métotique, avec des accroissements respectifs de 56,70 % et 49,22 %. En revanche, les génotypes rouge décortiqué et syrie 229 présentent des augmentations plus modérées, de 33,14 % et 5,94 % par rapport aux témoins.

CHAPITRE IV: ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS RELATIFS A L'IMPACT DU STRESS SALIN SUR LA LENTILLE

Pour le lot à 150 mM, les quatre géotypes semence triée (8-9), série 229, rouge Métotique et rouge décortiqué ont montré des augmentations significatives du taux de sucres, avec des évolutions respectives de 112 %, 62,46 %, 49,84 % et 37,33 % par rapport aux témoins.

Tableau 9: Résultats moyenne du taux des sucres chez les géotypes testés et sous les quatre traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150 mM).

Géotype	Traitement salin	Taux de sucres solubles (mg/gMF)	Std. Errs
lentille rouge décortiqué	0 mM	13,58	2,55
	50 mM	15,62	4,41
	100 mM	18,08	3,22
	150 mM	18,65	0,99
lentille syrie 229	0 mM	11,30	0,25
	50 mM	11,51	1,27
	100 mM	11,97	1,41
	150 mM	18,36	2,11
lentilles semence triée (8-9)	0 mM	9,26	1,01
	50 mM	11,97	1,41
	100 mM	14,51	1,49
	150 mM	19,63	1,94
lentille rouge Métotique	0 mM	8,30	0,22
	50 mM	10,91	2,27
	100 mM	12,39	2,51
	150 mM	12,44	2,13

2.2. Teneur en Proline

Le tableau (10) met en évidence une influence hautement significative du traitement appliqué sur la teneur en proline. En revanche, le génotype ainsi que l'interaction génotype $\times$ traitement n'ont montré aucun effet significatif sur ce paramètre. L'application du stress salin a induit une augmentation notable de la teneur en proline, avec un coefficient de corrélation de $r = 0,56$ observée de manière constante chez l'ensemble des génotypes étudiés.

Au niveau du lot témoin (0 mM de NaCl), la teneur moyenne en proline varie selon les différentes variétés étudiées (Tableau 0). La variété rouge Métotique présente la teneur la plus élevée avec $0,126 \pm 0,007$ mg/g MF, suivie de la variété Syrie 229 avec $0,073 \pm 0,001$ mg/g MF, puis de la variété rouge décortiqué avec $0,067 \pm 0,013$ mg/g MF. La variété semence triée (8-9) enregistre la valeur la plus faible, soit $0,057 \pm 0,009$ mg/g MF. L'application du stress salin entraîne une augmentation significative de la teneur en proline, traduisant une réponse adaptative des plantes aux conditions de salinité. Au niveau du lot traité avec 50 mM, cette augmentation varie selon les génotypes testés. La variété rouge décortiqué montre la hausse la plus marquée, atteignant 82,08 %. En revanche, les autres génotypes présentent des augmentations plus modestes : la variété semence triée (8-9) enregistre une augmentation de 22,80 %, suivie de la variété rouge Métotique 4 avec 18,25 %, tandis que la variété Syrie 229 affiche la plus faible progression, soit 10,95 %.

Au niveau du lot traité avec 100 mM, les augmentations les plus importantes de la teneur en proline sont observées chez le génotype semence triée (8-9) et la variété Syrie 229, avec des hausses respectives de 129,8 % et 102,7 %. En comparaison, le génotype rouge décortiqué présente une augmentation de 81,79 %, tandis que celle enregistrée chez le génotype rouge Métotique atteint 19,04 %.

Au niveau du lot traité avec 150 mM, les augmentations de la teneur en proline sont particulièrement marquées. Le génotype semence triée (8-9) enregistre la plus forte hausse avec 126,3 %, suivi du génotype Syrie 229 avec une augmentation de 102,73 %. À l'inverse, le génotype rouge Métotique présente la plus faible augmentation de la collection, avec un taux de 0,79 %, tandis que le génotype rouge décortiqué atteint une valeur légèrement supérieure, estimée à 70,59 %.

CHAPITRE IV: ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS RELATIFS A L'IMPACT DU STRESS SALIN SUR LA LENTILLE

Tableau 10 : Résultats moyenne de la teneur en proline chez les géotypes testés et sous les quatre traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150 mM).

Géotype	Traitement salin	Proline (mg/gMF)	Std. Errs
lentille rouge décortiqué	0 mM	0,067	0,013
	50 mM	0,122	0,010
	100 mM	0,122	0,012
	150 mM	0,197	0,067
lentille Syrie 229	0 mM	0,073	0,001
	50 mM	0,081	0,011
	100 mM	0,148	0,009
	150 mM	0,148	0,029
lentilles semence triée (8-9)	0 mM	0,057	0,009
	50 mM	0,070	0,015
	100 mM	0,131	0,012
	150 mM	0,129	0,014
lentille rouge Métotique	0 mM	0,126	0,007
	50 mM	0,149	0,015
	100 mM	0,150	0,018
	150 mM	0,127	0,011

2.3 La teneur en protéine

La teneur en protéines (Tableau 11) est influencée à la fois par la nature des géotypes et par le traitement appliqué, sans qu'une interaction significative entre ces deux facteurs ne soit détectée. Par ailleurs, le traitement salin provoque une baisse de la teneur en protéines ($r = -0,11$).

Au niveau du lot témoin (0 mM) (Tableau 10), la teneur en protéines varie légèrement entre les géotypes. Le géotype semence triée (8-9) présente la valeur la plus faible avec $8,362 \pm 0,016$ mg/g MF, suivi de la variété Syrie 229 avec $8,551 \pm 0,003$ mg/g MF. Les variétés rouge décortiqué et rouge Métotique enregistrent les teneurs les plus élevées, avec respectivement $8,670 \pm 0,124$ mg/g MF et $8,670 \pm 0,033$ mg/g MF.

Au niveau du lot traité avec 50 mM, le stress salin a entraîné une réduction variable de la teneur en protéines selon les géotypes. La variété rouge Métotique a subi la diminution la plus importante, avec une baisse de 6,84 % par rapport au témoin. Les réductions observées chez les autres variétés sont plus faibles : 0,94 % pour la variété semence triée (8-9), 0,47 % pour la variété rouge décortiqué et 0,16 % pour la variété Syrie 229.

Sous l'effet du traitement salin à 100 mM, deux tendances opposées sont observées parmi les géotypes. Les variétés semence triée (8-9), rouge décortiqué et Syrie 229 montrent une augmentation de la teneur en protéines, atteignant respectivement 5,00 %, 2,29 % et 1,93 %. En revanche, la variété rouge Métotique se distingue par une diminution de 1,90 %.

Sous l'effet du traitement salin à 150 mM, une diminution de la teneur en protéines est observée chez les variétés rouges métotique, Syrie 229 et rouge décortiqué, avec des baisses respectives de 9,53 %, 3,61 % et 0,51 %. À l'inverse, la variété semence triée (8-9) est la seule à présenter une augmentation, estimée à 2,67 %.

CHAPITRE IV: ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS RELATIFS A L'IMPACT DU STRESS SALIN SUR LA LENTILLE

Tableau 11: Résultats moyenne de la teneur en protéine chez les génotypes testés et sous les quatre traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150 mM)

Génotype	Traitement salin	Protéines (mg/gMF)	Std. Errs
lentille rouge décortiqué	0 mM	8,678	0,012
	50 mM	8,637	0,014
	100 mM	8,877	0,012
	150 mM	8,634	0,018
lentille Syrie 229	0 mM	8,551	0,003
	50 mM	8,538	0,052
	100 mM	8,716	0,028
	150 mM	8,246	0,007
lentilles semence triée (8-9)	0 mM	8,363	0,016
	50 mM	8,284	0,035
	100 mM	8,778	0,024
	150 mM	8,586	0,034
lentille rouge Métotique	0 mM	8,678	0,033
	50 mM	8,084	0,077
	100 mM	8,514	0,017
	150 mM	7,851	0,734

Discussion

L'étude de ces paramètres peut fournir des informations précieuses concernant la capacité de tolérance des plantes (**Munns et al., 2002; Apel et Hirt 2004; Singh et al., 2017**) . Il existe une forte coordination entre les diverses réponses physiologiques de la lentille au stress salin et leurs mécanismes de tolérance, tels que la teneur relative en eau (**Sidari et al., 2008**) et l'indice de stabilité membranaire (**Jamil et al., 2012**) . Nos recherches sur l'impact de la salinité sur la Teneur Relative en Eau (TRE) des feuilles révèlent une tendance claire : l'augmentation de la concentration en sel entraîne une réduction significative du TRE. Cette observation est confirmée par nos résultats, avec un coefficient de corrélation ($r = -0,61$), indiquant une relation inverse notable. Fait intéressant, même face à des concentrations élevées de chlorure de sodium (100 meq/mmol et 150 meq/mmol), le TRE des plantes stressées par le sel n'a été que légèrement réduit. Ce comportement suggère une forme de "résistance" au stress salin, où les plantes parviennent à maintenir un équilibre hydrique relativement stable malgré des conditions difficiles.

La RWC reflète à la fois la quantité d'eau absorbée par les racines et celle perdue par transpiration. Plusieurs chercheurs ont observé une diminution de la teneur en eau des plantes sous l'effet d'un stress salin accru, notamment chez le riz et *Medicago polymorpha* (**Polash, M.A. et al 2018**)

La teneur relative en eau des feuilles est un critère fiable pour évaluer l'eau présente dans les tissus végétaux. En effet, elle reflète un meilleur équilibre entre l'eau de la plante et le taux de transpiration, grâce à sa relation directe avec le volume cellulaire (**Schonfeld et al., 1988**).

La perte d'eau des tissus foliaires entraîne une réduction du potentiel de turgescence des feuilles, ce qui affecte directement de nombreux processus physiologiques et morphologiques cruciaux. Parmi ceux-ci figurent l'agrandissement des feuilles, l'ouverture des stomates et la photosynthèse (**Jones et Turner, 1978**). Le stress salin induit chez les plantes une carence en eau, se manifestant notamment par la fermeture des stomates au niveau des feuilles. Une diminution de la teneur relative en eau (RWC) est un indicateur fiable d'une faible turgescence (**Alotaibi et al., 2019**)

Nous avons observé une corrélation négative entre la teneur en eau relative (RWC) et l'accumulation de sucres ($r = -0,19$). Ce résultat rejoint les conclusions de **Taha et al. (2020)**,

qui ont démontré que l'ajustement osmotique est un mécanisme crucial dans l'adaptation des plantes à divers stress. Selon leurs travaux, l'accumulation de sucres et de proline améliore cet ajustement osmotique cellulaire, contribuant ainsi à maintenir une RWC plus élevée. Une corrélation significative similaire entre la RWC et l'accumulation des sucres solubles a également été rapportée par **Mohsenzadeh et al. (2006)**.

Les résultats indiquent que la teneur en sucres solubles dans divers organes augmente avec la concentration saline. Les sucres solubles agissent comme des osmolytes essentiels, participant directement à l'ajustement osmotique pour le maintien de diverses fonctions physiologiques. De nombreuses études ont démontré une augmentation de ces sucres sous stress salin chez plusieurs espèces, notamment la tomate (**Amini et Ehsanpour, 2005**), le tournesol (**Ouazzani et Moustaghfir, 2020**), le riz (**Zhang et al., 2012**), le blé (**Khatkar et Kuhad, 2000 ; Sadak et Talaat, 2021**), le maïs (**Tajdoost, Farboodnia et Heidari, 2007**) et l'orge (**Khosravinejad, Heydari et Farboodnia, 2009**). Nos travaux confirment cette tendance : l'irrigation avec des concentrations croissantes de NaCl (50, 100 et 150 meq/mmol) a significativement accru la teneur en sucres solubles ($r=0,54$) dans les quatre géotypes étudiés.

Ces observations indiquent que tous les géotypes augmentent leur teneur en sucre en réponse à la salinité, suggérant ainsi une adaptation au stress osmotique. Le géotype lentille métiotique se distingue particulièrement par sa forte réactivité aux conditions salines, atteignant une accumulation maximale de 112 % sous le traitement de salinité intense. Il est reconnu que l'accumulation de sucres sert d'indicateur de la résistance au stress salin (**Munns et al. 2006**).

Les sucres jouent également un rôle crucial dans la protection de la structure des biomolécules et des membranes (**Hare, Cress et Van Staden, 1998**). De plus, ils agissent comme des piègeurs de radicaux libres, empêchant ainsi leurs effets néfastes sur les cellules (**Couée et al., 2006**). Enfin, ces sucres protègent les protéines et les membranes contre les dommages causés par de fortes concentrations d'ions inorganiques (**Rathinasabapathi, 2000**). L'accumulation de ces sucres semble entraîner une gélification du contenu cellulaire en saturant l'environnement intracellulaire. Ce processus clé prévient la cristallisation des molécules au sein de la cellule, ce qui réduit considérablement les dommages aux structures cellulaires. De ce fait, cette accumulation de sucres est proposée comme un indicateur de résistance au stress salin (**Chougui, 2018**).

CHAPITRE IV: ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS RELATIFS A L'IMPACT DU STRESS SALIN SUR LA LENTILLE

Nos résultats ont mis en évidence une corrélation significative ($r=0,56$) entre le taux de proline et l'intensité croissante du stress appliqué. Les données du tableau 03 confirment que l'ajout de NaCl à trois concentrations différentes a entraîné une augmentation notable de la concentration de proline. Cette accumulation de proline est l'une des manifestations les plus importantes observées chez les plantes pour limiter les effets du stress salin et hydrique, contribuant ainsi à l'ajustement du potentiel osmotique dans le cytoplasme (**Sannada et al. 1995 ; Belkhodja et Benkabilia, 2000**).

La proline est un indicateur important des agressions subies par les plantes. D'après Alem et **Ameri (2005)**, elle jouerait un rôle dans le maintien de la pression de la vacuole, la protection des membranes et des systèmes enzymatiques, et servirait également de régulateur du pH.

L'augmentation des acides aminés en réponse à une concentration saline élevée s'explique par un déséquilibre osmotique au sein de la cellule. Face à ce stress, la cellule accroît sa production d'acides aminés dans le cytoplasme. Ces acides aminés agissent alors de deux manières principales : ils contribuent à rétablir l'équilibre osmotique entre la vacuole et le cytoplasme, et ils servent de facteurs de protection pour les enzymes et les organites cellulaires présents dans le cytoplasme.

En plus de son rôle dans l'ajustement osmotique des plantes, la proline assure une protection des membranes et des enzymes contre le stress oxydatif (**Agrawal et Panday, 2004**).

Dans le cytoplasme, l'accumulation de proline fonctionne comme un osmotique. Ceci est crucial car ça neutralise les effets ioniques et osmotiques liés à l'excès de sel dans la vacuole. Par exemple, chez les légumineuses, la salinité induit l'accumulation de proline dans les nodules, ce qui favorise la croissance et l'amélioration de la fixation symbiotique de l'azote (**Farissi et al. 2011**).

La proline est également reconnue pour d'autres rôles vitaux : elle stabilise les protéines et les complexes macromoléculaires, capture les radicaux libres, protégeant ainsi les cellules des dommages oxydatifs, et régule le potentiel redox cellulaire. Il est important de noter que la concentration intracellulaire de proline est finement équilibrée entre sa production (biosynthèse) et sa dégradation (**Ben Rejeb et al., 2012**).

Nos analyses ont révélé que la teneur en protéines permet de catégoriser les génotypes étudiés en deux groupes distincts : l'un caractérisé par une augmentation de ce paramètre, et l'autre par une diminution. Cette dichotomie suggère une sensibilité génotypique variable face aux conditions expérimentales. Il est important de souligner que cette variabilité semble être principalement dépendante des effets intrinsèques des génotypes, et ce, indépendamment de l'influence des traitements salins. La faible corrélation ($r = -0,11$) observée entre la teneur en protéines et les traitements salins vient étayer cette conclusion, indiquant que la salinité n'exerce pas un impact significatif sur l'expression de ce paramètre.

Contrairement à la TRE qui présente une diminution générale avec l'augmentation de la salinité, la teneur en protéine révèle une réponse plus nuancée et complexe. Les niveaux de protéines peuvent même augmenter à des concentrations de salinité modérées (par exemple, 100 meq/mmol), ce qui pourrait s'expliquer par un mécanisme d'adaptation, potentiellement la synthèse de protéines induites par le stress. Cependant, face à des niveaux de salinité plus élevés (150 meq/mmol), une diminution de la teneur en protéine est observée chez la plupart des génotypes, suggérant qu'un stress intense commence à impacter négativement le métabolisme protéique. L'absence d'une interaction significative entre le génotype et le traitement indique que ce schéma général de réponse des protéines est relativement uniforme entre les génotypes, malgré des variations individuelles dans l'ampleur des changements.

Ces résultats mettent en évidence la primauté de l'effet génotypique dans la modulation de la teneur en protéines sous les conditions étudiées.

Nous avons observé une diminution de la teneur en protéines chez la variété L entaille syrie229. Cette réduction des protéines solubles sous l'effet du stress salin a été rapportée par plusieurs auteurs, qui soulignent qu'elle ne confère pas nécessairement une tolérance au stress à la plante (**Gheraibia et al. 2016**). À l'inverse, l'inhibition de l'incorporation des acides aminés dans le processus de biosynthèse des protéines peut entraîner une augmentation de leur concentration, notamment celle de la proline (**Cui et al. 2015**). Dans la majorité des cas, la diminution des taux de protéines est attribuée à une augmentation de l'activité de l'enzyme protéine hydrolase (**Flowers et Yeo, 1981**).

Abeer et al. (2013) ont souligné que les protéines produites en réponse au stress salin ne sont pas systématiquement liées à la tolérance au sel. Cela implique que l'efficacité des protéines comme indicateurs de tolérance au sel varie en fonction de l'espèce végétale ou de la variété cultivée. Par ailleurs, la dégradation des protéines en milieu salin est attribuée à

plusieurs facteurs. Parmi eux, on compte la réduction de leur synthèse, l'accélération de la protéolyse, une diminution de la disponibilité des acides aminés, ainsi que la dénaturation des enzymes essentielles à leur biosynthèse.

Nous avons constaté une augmentation de la teneur en protéines chez les variétés lentille rouge Décortiquée et Métotique. Ceci concorde avec les travaux **d'Ouïs et Belkhodja (2012)**, qui expliquent que les stress hydriques et salins provoquent une hausse des niveaux de protéines dans les feuilles, souvent due à une surexpression des enzymes impliquées dans la réparation des protéines durant ces périodes de stress.

Face au stress salin, les plantes peuvent adopter l'accumulation de protéines comme mécanisme d'adaptation. Lorsqu'elles y sont confrontées, une présynthèse de protéines ou l'activation d'un métabolisme spécifique conduisant à une hausse de la concentration de certaines protéines peut s'opérer. Les plantes peuvent également réagir en stimulant des voies de signalisation impliquant l'enzyme protéine kinase (**Sayedhroghayeh et al, 2020**).

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

La salinité représente un facteur limitant important pour la croissance et le développement des plantes, notamment dans les zones arides et semi-arides où la salinisation des sols est fréquente. Ses effets varient en fonction des organes affectés, des espèces végétales concernées et de l'intensité du stress. Dans ce contexte, les légumineuses occupent une place privilégiée, contribuant à l'amélioration de la fertilité des sols grâce à leur capacité à fixer l'azote atmosphérique. L'analyse des mécanismes de résistance et de tolérance des plantes à la salinité revêt une importance majeure, car elle permet de fournir des données essentielles sur les espèces végétales, facilitant ainsi leur utilisation optimale en production agricole.

Cette thèse s'inscrit dans l'étude des réponses physiologiques et biochimiques de la lentille alimentaire (*Lens culinaris* Medik) face au stress salin. Quatre génotypes ont été évalués : décortiquée, Syrie 229, métiotique et semences triées (8-9), exposés à différents niveaux de salinité afin d'analyser leur comportement et déterminer leur tolérance ou sensibilité au sel. Les paramètres mesurés au niveau foliaire pendant la phase de croissance végétative incluent des indicateurs physiologiques (teneur relative en eau) et biochimiques (sucres totaux, protéines, proline, sodium et potassium). Les résultats obtenus mettent en évidence l'effet globalement négatif de la salinité sur la croissance des plantes.

L'exposition au stress salin a entraîné une augmentation progressive des teneurs en sucres solubles et en proline, proportionnelle à l'intensité des concentrations appliquées. En revanche, la teneur relative en eau a diminué, tandis que les niveaux de protéines ont présenté des variations différenciées selon les génotypes, avec une hausse chez certains et une baisse chez d'autres.

Les résultats obtenus permettent de distinguer les génotypes selon leur niveau de tolérance au stress salin. Le génotype "semences triées (8-9)" s'est révélé le plus tolérant, grâce à une faible réduction de la teneur relative en eau (RWC), une accumulation modérée de proline et une bonne capacité d'ajustement osmotique via les sucres solubles. Le génotype "décortiquée" a également montré une bonne tolérance, avec une stabilité notable de la RWC et une accumulation modérée en composés osmorégulateurs. Le génotype "Syrie 229" présente une tolérance intermédiaire, caractérisée par une forte accumulation de proline mais une baisse modérée des protéines. En revanche, le génotype "métiotique", bien que fortement réactif sur le plan biochimique (proline et sucres), a subi des diminutions marquées de la RWC, ce qui traduit une sensibilité élevée au stress salin.

CONCLUSION GENERALE

Il serait également pertinent d'approfondir l'étude des mécanismes physiologiques à l'origine de la tolérance au sel chez ces génotypes. Une telle analyse permettrait de mieux comprendre les stratégies qu'ils mobilisent pour maintenir leur croissance et leur rendement en conditions défavorables.

Pour conclure, Il convient de souligner que la tolérance au stress salin constitue un caractère complexe, résultant de l'interaction de multiples facteurs, notamment la diversité génétique des plantes, les conditions environnementales ainsi que les pratiques culturales adoptées.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Agarwal, S., & Pandey, V. (2004).** Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. *Biologiaplantarum*, 48(4), 555-560.
- **Alarcon J. J., Sanchez-Blanco M. J., Bolarin M. J., Torrecillas A., 1994-** Growth and osmotic adjustment of two tomato cultivars during and after saline stress. *Plant Soil*
- **Amini, F., & Ehsanpour, A. A. (2005).** Soluble proteins, proline, carbohydrates and Na⁺/K⁺ changes in two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars under in vitro salt stress. *Am. J. Biochem&Biotech*, 1(4), 204-208.
- **Apel K, Hirt H.** Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Ann Rev Plant Biol.* 2004; 55:373-399.
- **Araujo L. J., Slafer G. A., Reynolds M. P., Royo C., 2002.** Plant breeding and water relations in C. cereals
- **Aubert G. 1983.** Observations sur les caractéristiques, la dénaturation et la classification des sels sous-sodiques. *Cahier O.R.S.T.O.M. Service Pédologie*, N°1. P73-78
- Bejiga. 2006.** *Lens culinaris* Medik. Fiche de Protéase. Brink, M. and Belay, G. (Editeurs).
- **Baba Sidi-Kaci S., 2010.** Effet du stress salin sur quelques paramètres phénologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'Atriplex en vue d'une valorisation agronomique. Thèse de Magister en gestion des agrosystèmes sahariens, Université Kasdi Merbah. Ouargla
- **Bekhouché, 1992-** Etude de la germination de quelques lignées de pois chiche soumis à la salinité, croissance, anatomie des racines. Thèse doctorat Biologie Oran.
- **Belkhodja, R. 1993.** La fluorescence de la chlorophylle sur l'orge (*Hordeum vulgare* L.): un possible voie pour le criblage de variétés tolérantes à la salinité et à la sécheresse. Master of Science Thesis. Instituto Agronomico Mediterraneo de Zaragoza, Spain.
- **Ben-Hayyim, G., Vaadia, Y. ET William, B. G. 1989.** Proteins associated with salt adaptation in citrus and tomato cells: Involvement of 26 KD polypeptides. *Physiol. Plant.* 77: 332–340.
- **Bouassaba K, Chougui S (2018)** Effet Du Stress Salin Sur Le Comportement Biochimique et Anatomique Chez Deux Variétés De Piment (*Capsicum Annuum* L.) À Mila/Algérie. *EurSci J* 14(15):159–174
- **Bouaziz E., 1980-** Tolérance à la salure de la pomme de terre, *Physiol. Vég.*
- **Bouaziz E., 1980-** Tolérance à la salure de la pomme de terre. *Physiol. Vég.* 18:

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Boukhachiche A., 1993-** Contribution à l'étude de quelques mécanismes morphologiques et biochimiques de tolérance à la salinité chez cinq génotypes de blé dur (*Triticum aestivum* Desf. Thèse magistère en Production et physiol.vég. Annaba.1
- **Baudoin JP. (2001).** Contribution des ressources phytogénétiques à la sélection variétales de légumineuses alimentaires tropicales. *Biotech. Agr. Soc. Envir.* 5(4) : 221-230.
- **Boye, J.I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., Rajamohamed, S.H. (2010).** Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, Vol 43 (2), pp. 537-546.
- **Couée, I. et al. (2006)** 'Involvement of soluble sugars in reactive oxygen species balance and responses to oxidative stress in plants', *Journal of Experimental Botany*, 57(3), pp. 449–459. Doi: 10.1093/jxb/erj027.
- **Dubey, R. S. et Rani, M. 1990.** Influence of NaCl salinity on the behavior of protease, aminopeptidase, and carboxy-peptidase in rice seedlings in relation to salt tolerance. *Aust. J. Plant Physiol.* 17: 215–221
- **EL-Mekkaoui M., 1990-** Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé dur (*T. durum* Desf.) et Forge (*H. vulgare*) recherches de tests précoces de sélection. Thèse doctorat en Sciences Agronomiques. Montpellier.
- **Erskine et al 2009** The lentil : Botany, production and uses. CAB International, Cambridge (USA), 457 p
- **Erskine W, Muehlbauer FJ, Sarker A, Sharma B (2009).** Introduction. In: Erskine W, Muehlbauer FJ, Sarker A, Sharma B (eds) The lentil: botany, production and uses. CAB International, Oxfordshire pp. 1–3
- **FAO 2006.** Deuxième Rapport National sur l'Etat des Ressources Phytogénétiques, INRAA.FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture).
- **FAOSTAT-Agriculture, 2011.** Food and agricultural commodities production. Food and agriculture organization, Rome
- **Farissi, M., Bouizgaren, A., Faghire, M., Bargaz, A., & Ghoulam, C. (2011).** Agrophysiological responses of Moroccan alfalfa (*Medicago sativa* L.) populations to salt stress during germination and early seedling stages. *Seed Science and Technology*, 39(2), 389-401.
- **Fayez, K. A. and Bazaid, S. A. (2014)** 'Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate', *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. King Saud University & Saudi Society of Agricultural Sciences, 13(1), pp. 45–55. Doi: 10.1016/j.jssas.2013.01.001.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Flowers, T. J., & Yeo, A. R. (1981).** Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *New Phytologist*, 88(2), 363-373.
- **FOSTAT, 2011** .Base de données de l'organisation mondiale de l'agriculture et de l'alimentation www.faostat.org/chickpea/stat.cal
- **Garg B., Singla N., 2004-** Genotypic variation in the response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to salinity. *Journal of Plant Physiology*
- **Gerouzis M., Berger A., Heim G., 1976-** Polymorphisme et germination des grains chez les espèces ornicoles du Sahara Sahemo. *Osceol* qui est de 1976.
- **Gill K. S., 1979-** Effects of soil salinity on grain filling and grain development in burley. *Biologi a plant anum*, 24
- **Grattan, S. R. et Grieve, C. M. 1999.**Salinity-mineral relations in horticultural crops. *Sci. Hortic.* 78: 127–157
- **Grusak, N. 2009.** Golden rice is an effective source of vitamine. *A* 89(6).322
- **Grusak, N. 2009.** Golden rice is an effective source of vitamine. *A* 89(6).322
- **Hadjadi S., 2009-** Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur des marqueurs biochimiques (proline et sucres solubles) de plantes juvéniles (*Atriplex halimus* L.) et *Atriplex canescens* P.). Nutt. Thèse magister en Biochimie et analyse des bioproduits. KasdiMerbah Ouargla
- **Haifa, Gheraibia, et al. "Comparative Study of the Biochemical and Physiological Mechanisms of Two Varieties of Durum Wheat (*Triticum durum* L.) Subject to Salt Stress."** *Indian Journal of Science and Technology* 9 (2016): 7.
- **Haloual F., Frikhae M., Ben H. Ham M., 2007.** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*.
- **Hamza, M. 1980.** Réponses des plantes à la salinité. *Physiol. Vég.* 13: 69–81
- **Hare, P. D., Cress, W. A. and Van Staden, J. (1998)** 'Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress', *Plant, Cell and Environment*, 21(6), pp. 535–553. doi: 10.1046/j.1365-3040.1998.00309.x
- **Hassani et al; (2008).** Effet de la Salinité Sur L'eau et Certains Osmolytes Chez L'orge (*Hordeum Vulgare* L.) *European Journal of Scientific Research*. Vol23, N°1, p61-69
- **Hocking, P. J. (2003).** "Plant physiological and molecular responses to humidity in air and heliox." *Plant Cell Environ.* 14: 509-515.
- **Howarth C.J., 2005".**Un co_auteur

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Howarth C.J., 2005**-Genetic improvements of tolerance to high temperature. In: Ashraf, M., Harris, P.J.C. (Eds.), *Abiotic Stresses Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches*. Howarth Press Inc., New York."
- **ICARDA. (2001)**. Manuel de laboratoire pour l'analyse des sols et des plantes. Deuxième édition. Centre international de recherche agricole dans les zones arides (ICARDA), Alep, Syrie. 172 p.
- **ITAB** :institut d'agriculture de alimentations biologique
- **ITGC, 2013**. la culture de lentille (*Lens culinaris*)
- **Jia W. G., Wang H., Zhang C. H., Zhang J., 2002**- Salt-stress-induced ABA accumulation is more sensitively triggered in roots than in shoots. *J Exp Bot*.
- **Khan M. A., Hamid A., Salahuddin A. B. M., Quasem A., Karim M. A., 1997**. Effect of sodium chloride on growth, photosynthesis and mineral ions accumulation of different types of rice (*Oryzasativa*). *J. Agronomy and science*.
- **Khatkar, D. I. N. E. S. H., Kuhad, M. S., &Khatkar, D. (2000)**. Stage sensitivity of wheat cultivars to short term salinity stress. *Indian Journal of Plant Physiology*, 5(1), 26-31.
- **Kouki, S., Saidi, N., Ben Rajeb, A., Brahmi, M., Bellila, A., Fumio, M., ... &Ouzari, H. (2012)**. Control of Fusarium Wilt of Tomato Caused by *Fusarium oxysporum* F. Sp. *RadicisLycopersici* Using Mixture of Vegetable and *Posidoniaoceanica* Compost. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012(1), 239639.
- **Lachiheb K., Neffati M., Zid E., 2004**- Aptitudes germinatives de certaines graminées halophytes spontanées de la Tunisie méridionale. *Options Méditerranéennes*.
- **Ladizinsky, G. (1993)**. Genetic relationships in the genus *Lens* Mill. FAO/ICARDA, Rome. (This is a report or publication often associated with FAO and ICARDA related to lentil genetic resources).
- **Larher F., Hugis M., Gernaut-Sauge D., 1987**- Les colloques D'INRA N-7, nutrition azotée des légumineuses, P.GUY ED INRA.
- **Laval-Martin, D. et Mazliak, P. (1995)**. *Physiologie végétale. I, Nutrition et métabolisme*. Hermann, Paris.
- **Lemekeddem H. et Debbache H., 2014** - Synthèse bibliographique sur l'effet du stress salin sur la germination de blé. Mémoire de Licence., Université d'Ouargla, 45p
- **Levegron A., Lopez F., Vannsuyt G., Berthomleu P., Fourcroy P., CASSE-DELBART F., 1995**- Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*
- **Levegron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P., Casse-Delbart F., 1995**- Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*.4

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Levegron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomleu P., Fourcroy P., Cassee-Delbart F., 1995-** Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures.
- **Levergy et Reddt (1996) cité en PARIDA et DAS (2005) :** Je n'ai pas trouvé cette citation spécifique dans les documents fournis. Il y a des références à "Parida et Das 2005" mais pas dans ce contexte précis.
- **Levitt J., 1980** -Responses of Plant to Environmental Stress Chilling, Freezing and High Temperature Stress. 2nd ed. Levit J. (ed.). Academia Press .New York NY."
- **L'INRA 2013**(Institut National de la Recherche Agronomique) la culture de lentille
- **M. Augagneur, M. Bouviala et L. Brun (FNAMS), E. Burel et J. Ménard (ITAB), G. Riquet (Terres Inovia/ANILS) - 2021.** Lentille.Collection « Produire des semences ». en agriculture biologique Edition FNAMS/ITAB. 4
- **Ma, L., Zhang, H., Sun, L., Jiao, Y., Zhang, G., Miao, C., &Hao, F. (2012).** NADPH oxidase AtrbohD and AtrbohF function in ROS-dependent regulation of Na⁺/K⁺ homeostasis in Arabidopsis under salt stress. Journal of ExperimentalBotany, 63(1), 305-317.
- **Mohsenzadeh, S., Malboobi, M. A., Razavi, K., &Farrahi-Aschtiani, S. (2006).** Physiological and molecular responses of Aeluropuslagopoides (Poaceae) to water deficit. Environmental and ExperimentalBotany, 56(3), 314-322.
- **Moulay, Belkhodja, and Benkablia Mohamed.** "Proline response of faba bean (Viciafaba L.) under salt stress." Egyptian Journal of Agricultural Research 78.1 (2000): 185-195.
- **Muehlbauer, F. andTullu,A. 1997.** New crop fact sheet: chickpeaCicer arietinum LAvailable at: <http://hort.purdue.edu/newcrop/crops/cropfactsheets/chickpea.html>
- **Munns, R., James, R. A., &Läuchli, A. (2006).** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of experimentalbotany, 57(5), 1025-1043.
- **NGUYEN CH.T., 2012** - Identification et caractérisation d'un canal chlorure, atclcg, implique dans la réponse au stress salin chez Arabidopsisthaliana. Thèse de Doctorat., Université Paris sud (France), 249p.
- **Nurnberger T., Brunner F., Kemmerling B.,Piater L., 2004.** Innate immunity in plants and animals: striking similarities and obvious differences. ImmunologicalReviews. 19
- **. Niu X., Rsesan R. A., Hasegawa P. M., Pardoo J. M., 1995-** Ion homeostasis in NaCl stress environments. Plant Physiology. 109 "
- **Ouazzani, C., Moustaghfir, A., &Er-Ramly, A. (2020).**Leaves peroxidase and esterase isozymes in sunflower crops exposed to saline environment. European chemical bulletin, 9(12), 425-429.
- **Parida A.K., Das A.B., 2005-** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicol Environ

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Pilot G., Gaymard F., Mouline K., Cherel I., Sentenac H., 2003.** Regulated expression of Arabidopsis shaker K⁺ channel genes involved in K⁺ uptake and distribution in the plant. *Plant Physiology*. 133
- **Polash, M.A.S.; Sakil, M.A.; Tahjib-Ul-Arif, M.; Hossain, M.A.** Effect of salinity on osmolytes and relative water content of selected rice genotypes. *Trop. Plant Res.* **2018**, 5, 227–232
- **PROTA**(Plant Resources of Tropical African/ Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Pays Bas.
- **Radi, Abeer A., Fatma A. Farghaly, and Afaf M. Hamada.** "Physiological and biochemical responses of salt-tolerant and salt-sensitive wheat and bean cultivars to salinity." *J. Biol. Earth Sci* 3.1 (2013): 72-88.
- **Rathinasabapathi, B. (2000)** 'Metabolic engineering for stress tolerance: Installing osmoprotectant synthesis pathways', *Annals of Botany*, 86(4), pp. 709–716. Doi: 10.1006/anbo.2000.1254.
- **Rejili M. A., Vadel M. A., Nefati M., 2006-** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*. **Ikhan M. A., Hamid A., Salahuddin A. B. M., Quasem A., Karim M. A., 1997-** Effect of sodium chloride on growth, photosynthesis and mineral ions accumulation of different types of rice (*Oryza sativa*). *J. Agronomy and science*: 159
- **Rejili M., Vadel M. A., Nefati M., 2006-** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*,
- **Sadak, M. S., & Talaat, I. M. (2021).** Attenuation of negative effects of saline stress in wheat plant by chitosan and calcium carbonate. *Bulletin of the National Research Centre*, 45, 1-12.
- **Sanada, Y., Ueda, H., Kuribayashi, K., Andoh, T., Hayashi, F., Tamai, N., & Wada, K. (1995).** Novel light-dark change of proline levels in halophyte (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) and glycophytes (*Hordeum vulgare* L. and *Triticum aestivum* L.) leaves and roots under salt stress. *Plant and cell physiology*, 36(6), 965-970.
- **Sarker, S. D., Latif, Z. and Gray, A. I. (2005).** Natural products isolation: An overview. In *Natural Products Isolation* (2nd ed., pp. 1-24). Humana Press. (This is an introductory chapter in a book, often cited for methodologies in natural product research).
- **Sarker, S. D., Latif, Z. and Gray, A. I. (2005).** Natural products isolation: An overview. In *Natural Products Isolation* (2nd ed., pp. 1-24). Humana Press. (This is an introductory chapter in a book, often cited for methodologies in natural product research).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Saxena, D. K., & Pandey, R. (2009).** La phytoremédiation des métaux lourds : Un aperçu. *Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation*, 1(1), 1-13. Pertinent pour les sciences de l'environnement et la biotechnologie végétale).
- **Schawartz, H.F. and Langham, M.A.C. 2012.** Grows stage of lentil. Disponiblesurinternet: <http://legume.ipmpipe.org>
- **Schonfeld, M.A., R.C. Johnson, B.F. Carver and D.W. Mornhinweg, 1988.** Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Sci.*, 28: 526-531.
- **Seyedeh Roghayeh Ghadirne jadShiadeh Hamtaleh Pirdashti , Mohammad Ali Esmaeili , GhorbanaliNematza** Physiological and Biochemical Evaluation of Sixth Generation Rice Mutant Allenes (*L sativaOryza*)under Salinity stress, *Journal of Plant Process and FunctionIranin Society Of Plant Physiology* , 9(35): 57-72
- **Sidari, M., Mallamaci, C., & Muscolo, A. (2008).** Drought, salinity and heat differently affect seed germination of *Pinus pinea*. *Journal of forest research*, 13, 326-330.
- **Sidari, Maria, Carmelo Mallamaci, and Adela Muscolo.** "Drought, salinity and heat differently affect seed germination of *Pinus pinea*." *Journal of forest research* 13 (2008): 326-330.
- **Singh D, Singh CK, Kumari S, Tomar RSS, Karwa S, Singh R, Pal M.** Discerning morpho-anatomical, physiological and molecular multiformity in cultivated and wild genotypes of lentil with reconciliation to salinity stress. *PLoS One*, **2017**, 12(5).
- **Soumssich L., Hahlabrock K., 1998.** Pathogen defence in plants - a paradigm of biological complexity. *Trends in Plant Science*.
- **Spollen W.G., LE F. M.D.S., Bernstein N., Sharp R.E., 2000** - Absciscic acid accumulation maintains maize primary root elongation at low water potentials by restricting ethylene production. *Plant Physiol*
- **Taha, A., Alnahhal, W., & Alnuaimi, N. (2020).** Bond durability of basalt FRP bars to fiber reinforced concrete in a saline environment. *Composite Structures*, 243, 112277.
- **Tremblin D., Coudret A., 1986-** Salinité, transpiration et échanges de CO₂ chez *Halopéropais articulata* (Vahl.) Uno. *Oecol Plant* 7
- **Tremblin G. (2000).** Température et osmorégulation des macro-algues. Université du Maine. Habilitation à diriger des recherches
- **ulmamen 2005** Botanica..ISBN/978-3-8480-0286-3. Botanica : Encyclopédie de botanique et **d'horticulture** plus de 10 000 plantes du monde entier (Français) Broché .
- **Vandenberg, A. et Slinkard, A.E. 1990.** Genetics of seed coat color and pattern In lentil. *Journal of Heredity*, (81): 484-48

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Vandenberg, A. et Slinkard, A.E. 1990.** Genetics of seed coat color and pattern in lentil. *Journal of Heredity*, (81): 484-488
- **Vincent I. (2006).** Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune (*Laminaria digitata*). Thèse doctorat Biologie
- **Wang H., Qi Q., Schorr P., Cutler A.J., Crosby W., Fowk L., 1993-** ICK1 a cyclin dependent protein kinase inhibitor from *Arabidopsis thaliana* interacts with both cdc2a and CycD3, and its expression is induced by abscisic acid.
- **Yunnus, A. G. and Jackson, M.T. 1991.** Thé gène pools of thé Grass pea. *Plant Breeding* 106 (4): 319-328
- **Zhu J.K., 2002-** Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.*
- **Zhu, J. K. (2002).** Aspects moléculaires et génétiques des réponses des plantes au stress osmotique. *Plant Cell and Environment*, 25(131) : 139.
- **Ziadi, N. (2001).** Impact de l'apport d'azote et du cultivar sur la teneur en éléments nutritifs du feuillage de la pomme de terre. *Journal canadien de la science du sol*, 81(1), 110."
- **"Zid M. (1982)"** dans le contexte d'une thèse : ZID M. (1982). Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur la croissance et la composition minérale de quelques lignées de blé dur. Thèse de 3 cycle. Univ. Alger.
- **Zaghouane O. (2001).** Plan national de développement agricole et programme de développement des légumineuses alimentaires. Actes de l'atelier national sur le développement des légumineuses alimentaires. Alger du 23 au 25 Avril 2001. Programme d'intensification et de modernisation des filières. Institut technique des grandes cultures – Ministère de l'Agriculture. p8-13.
- **.Site web :**
 - **Rapport sur le marché des lentilles, Agriculture et Agroalimentaire Canada** (http://www.agr.gc.ca/pol/mad-dam/pubs/rmar/pdf/rmar_02_02_2010-08-03_fra.pdf)
 - **<https://agronomie.info/fr> (consulté le 15\02\2020)** <https://www.terresinovia.fr/-/ravageurs-de-la-lentille> (consulté le 23\03\2020) <https://www.terresinovia.fr/> (consulté le 17\07\2020)
 - **Site de FAO Stat** (<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>)
 - * **"Anonyme, (2004).** Superficie et production de gombo. WWW. Google/okra area production.com."
 - (ResearchGate, efficacité des biofertilisants sur le gombo)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Site de FAO Stat ([http:// faostat. fao. org/ site/ 567/ default. aspx#ancor](http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor))
<https://www.terresinovia.fr/-/risque-aphanomycesaphanomyces>

Annex :

Tableau 12 : Matrice de corrélation

Variable	Génotype	Traitement salin	RWC	Taux de sucres	Proline	Protéines
Génotype	1,00	0,00	-0,12	-0,39	0,04	-0,39
Traitement salin	0,00	1,00	-0,61	0,54	0,56	-0,11
RWC	-0,12	-0,61	1,00	-0,19	-0,41	-0,03
Taux de sucres	-0,39	0,54	-0,19	1,00	0,27	0,02
Proline	0,04	0,56	-0,41	0,27	1,00	0,04
Protéines	-0,39	-0,11	-0,03	0,02	0,04	1,00