

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Béjaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des sciences biologiques de l'environnement
Spécialité écologie



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Etude du stress salin sur la germination et les
paramètres morpho-physiologiques des
plantules de *Vicia faba. var. minor.* (L.)**

Présenté par :

DJENANE Rebiha & MEZIANE Zoulikha

Soutenu le : 13/07/2022

Devant le jury composé de :

M. HAMLAT. Mourad	MAA	Président
M RAMDANI. Nacer	MAA	Encadreur
M. ADJAOU. Abdenour	MAA	Examineur

Année universitaire : 2021 / 2022

Remerciements

Nous remercions Dieu, le tout puissant de nous avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science.

Nous remercions profondément notre promoteur Monsieur RAMDANI Nacer, qui a été d'un grand apport pour la réalisation de ce travail. Ses conseils, ses orientations ainsi que son soutien moral et scientifique nous ont permis de mener à bien ce projet.

Aussi, nous souhaitons adresser nos vifs remerciements à HAMLAT. Mourad, d'avoir accepté de présider ce jury et à Monsieur ADJAOU. Abdenour, d'avoir accepté de juger notre travail.

... Merci

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus importantes dans ma vie, mes
parents Cherif et Hafsa. Que Dieu les garde.*

A mes chères sœurs Khedoudja et Fatima, que Dieu les protège.

A mon frère Abderrehmane, que Dieu le grade.

A mes amies, Malak et Fatima

Zoulikha

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus importantes dans ma vie, mes
parents Ammar et Zakia. Que Dieu les garde.*

A mes chères sœurs, Sonia et Warda. Que Dieu les protège.

A mon frère, Mourad . Que Dieu le grade

A mes amis Yasser et loubna .

Rebiha

LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

μS/cm : micro Siemens/centimètre

CaCO₃ : calcaire total

CISEAU : Centre d'Information sur l'Eau Agricole et ses Usages

CO₂ : dioxyde de carbone

DMSO : diméthylesulfoxyde

dS/m : déci Siemens/mètre

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

INSID : institut national des sols, de l'irrigation et de drainage

IPITRID : Programme International pour la Technologie et la Recherche en Irrigation et Drainage

Kcal : Kilocalories

MO : Matière Organique

MVF : Matière Végétale Fraiche

nm : nanomètre

NO₃⁻ : nitrate

SO₂ : dioxyde de soufre

SOS: Salt-Overly-Sensitive

USDA: Département de l'Agriculture des Etats Unies

var : variété

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 : Mécanisme de tolérance de la plante contre le stress salin (Trung, 2020)	10
Figure 2 : Les graines de <i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i>	15
Figure 3 : Répartition pondérale des grains de <i>Vicia faba</i> .L. var. <i>minor</i>	17
Figure 4 : Germination des grains de <i>Vicia faba</i> . var. <i>minor</i>	18
Figure 5 : Effet de la salinité sur la hauteur de <i>Vicia faba</i> var <i>minor</i>	23
Figure 6 : Classement des hauteurs des plantes de <i>Vicia faba</i> var <i>minor</i> en fonction des traitements	24
Figure 7 : Effet de NaCl sur la morphologie des plantes de <i>Vicia faba</i> . var. <i>minor</i>	25
Figure 8 : Le taux de la germination des graines de <i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i>	26
Figure 9 : Effet de la salinité sur la vitesse de la germination des graines de <i>Vicia faba</i> L. ..	27
Figure 10 : Effet du NaCl sur les teneurs des pigments chlorophylliens des plantes de <i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i>	28
Figure 11 : Effet de NaCl sur les teneurs en la proline chez <i>Vicia faba</i> . var. <i>minor</i>	30
Figure 12 : Classement des teneurs en proline foliaire de <i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i> en fonction des traitements.....	31

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 01 : Echelle de la salinité des sols selon Durand J.H (1983)	5
Tableau 02 : Les types de sols salins	6
Tableau 03 : Les valeurs nutritives de la fève (<i>Vicia faba</i> L.) pour 100 g de portion comestible.....	13
Tableau 04 : Résultats des analyses du sol étudié.....	22
Tableau 05 : Classement des moyennes des taux des pigments chlorophylliens en fonction des traitements.....	29

Résumé

La présente étude a été menée pour mieux comprendre les effets de la salinité sur la croissance, la germination et les teneurs en pigments chlorophylliens et en proline chez la féverole (*Vicia faba* L.). Les plantes ont été cultivées dans des conditions semi-contrôlées et arrosées par des solutions contenant différentes concentrations de chlorure de sodium (NaCl), en plus du témoin (0), à 0,5% ; 1% ; 1,5% ; 2% et 2,5%. Nos résultats montrent que l'augmentation de la concentration saline des solutions d'arrosage a exercé un effet dépressif sur tous les paramètres morpho-physiologiques étudiés. Généralement, le NaCl a entraîné une diminution progressive des taux de germination, voire inhibe complètement germination de *V. faba* (L.), particulièrement à des concentrations élevées de sel. De plus, la salinité a entraîné des diminutions des hauteurs des plantes, accompagnées par des réductions significatives des teneurs en pigments photosynthétiques (Chl a, Chl. b, Chl. totale et caraténoides + xanthophylles) et par des augmentations considérables des taux de proline foliaire. Ces effets étaient les plus accentués dans le cas des plantes exposées à des concentrations de NaCl les plus élevées.

Mots clés : *Vicia faba* L., NaCl, stress salin, croissance, pigments chlorophylliens, proline

Abstract

The present study was done to better understand the salinity effects on growth, germination, chlorophyll pigments and proline content in faba bean (*Vicia faba* L.). Plants were grown under semi-controlled conditions and watered with solutions containing different concentrations of sodium chloride (NaCl), in addition to control (0), at 0.5%; 1%; 1.5%; 2% and 2.5%. Our results showed that the increase in the saline concentration of the watering solutions exert a depressive effect on the all morpho-physiological parameters studied. Generally, NaCl resulted in a progressive decrease in germination rates, or even completely inhibits germination of *V. faba* (L.), especially at high salt concentrations. In addition, salinity caused decreases in plant heights, accompanied by significant reductions in photosynthetic pigment levels (Chl a, Chl. b, Chl. total and caratenoids + xantophylls) and by considerable increases in leaf proline levels. These effects were most pronounced for plants exposed to the highest NaCl concentrations.

Key words: *Vicia faba* L., NaCl, salt stress, growth, chlorophyll pigments, proline.

ملخص

اجرت هذه الدراسة لفهم تأثير الملوحة على النمو، الانتاش، نسبة اليخضور و البرولين عند نبات الفول (*Vicia faba* L.). تمت زراعة هذه النباتات تحت شروط متحكم فيها جزئياً وسقيت بمحاليل تحتوي على تراكيز مختلفة من كلوريد الصوديوم (NaCl). تتراوح هذه التراكيز من 0%، 0,5 %، 1%، 1,5%، 2%، 2,5%. أظهرت النتائج المتحصلة عليها ان تزايد في تركيز المحاليل الملحية اثرت سلباً على العوامل الظاهرية والفيزيولوجية المدروسة. بشكل عام، تسبب كوريد الصوديوم في انخفاض تدريجي حتى التوقف النهائي لعملية الانتاش عند تراكيز عالية من الملوحة. بالإضافة الى انخفاض في طول النباتات ونسبة اليخضور. كما تمت ملاحظة ارتفاع كبير لنسبة البرولين في النبات كلما زادت املوحة.

الكلمات الدالة: نبات الفول، كلوريد الصوديوم، الملوحة، النمو، اليخضور، برولين

Sommaire

TABLE DE MATIERE

Dédicaces

Remerciements

Liste des abréviations

Liste des figures et tableaux

Résumés en français, anglais et arabe

INTRODUCTION GENERALE	1
1. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1.1. Notions de stress salin	3
1.1.1. Stress oxydatif	3
1.1.2. Stress osmotique.....	3
1.1.3. Stress ionique	3
1.2. Généralités sur la salinité des sols.....	3
1.2.1. Notions de la salinité du sol	3
1.2.2. Les types et l'origine de la salinité.....	4
1.2.2.1. La salinité primaire.....	4
1.2.2.2. La salinité secondaire	4
1.2.3. L'échelle de la salinité.....	5
1.2.4. Les signes de la salinité du sol	5
1.2.5. La répartition des sols salins dans le monde	5
1.2.6. La classification des sols salins	6
1.2.7. Influence de la salinité sur la plante	6
1.2.7.1. Effet de la salinité sur la germination.....	6
1.2.7.2. Effet de la salinité sur la croissance de la plante	7
1.2.7.3. Effet de la salinité sur la morphologie de la plante	8
1.2.7.4. Effet de la salinité sur la chlorophylle et les caroténoïdes	8

1.2.7.5. Effet de la salinité sur la photosynthèse	8
1.2.3. La tolérance des plantes à la salinité	9
1.2.3.1. Stratégie de détoxification contre le stress oxydatif	9
1.2.3.2. L'homéostasie hydrique contre le stress osmotique.....	9
1.2.3.3. Maintien de l'équilibre ionique	9
1.2.4. Moyens de lutte contre la salinité des sols	11
1.2.4.1. La lixiviation	11
1.2.4.2. Le drainage	11
1.2.4.3. La qualité d'eau d'irrigation.....	11
1.3. Généralités sur la fève (<i>Vicia faba</i> L.)	12
1.3.1. Classification de <i>Vicia faba</i> (L.).....	12
1.3.2. Description botanique	12
1.3.3. Les valeurs nutritives de la fève	13
1.3.4. Utilisation de la fève	13
1.3.5. Exigences de la culture de la fève	13
1.3.5.1. Exigences pédologiques	13
1.3.5.2. Exigences climatiques	13
1.3.6. Les contraintes de la culture de la fève	14
1.3.6.1. Les contraintes abiotiques	14
1.3.6.2. Les contraintes biotiques	14
2. MATERIEL ET METHODES.....	15
2.1. Matériel	15
2.1.1. Le végétal	15
2.1.2. Le sol.....	15
2.1.3. Les solutions salines.....	15

2.2. Méthodes	15
2.2.1. Analyses physico-chimiques du sol	15
2.2.1.1. Détermination de l'humidité	16
2.2.1.2. Détermination du pH.....	16
2.2.1.3. La conductivité électrique (CE)	16
2.2.1.4. Dosage du calcaire total	16
2.2.1.5. Dosage du calcaire actif	16
2.2.1.6. Analyse granulométrique	17
2.2.2. Préparation du végétal	17
2.2.2.1. Répartition pondérale des graines de <i>Vicia faba</i> (L.).....	17
2.2.2.2. Test de germination.....	18
2.2.3. Effet de la salinité sur la germination des graines de <i>Vicia faba</i> (L.)	18
2.2.4. Effet de la salinité sur le développement des plantules de <i>Vicia faba</i> (L.)	19
2.2.4.1. Installation et conduite de l'essai expérimental	19
2.2.4.2. Préparation des pots	19
2.2.4.3. Mise en culture des plantes	19
2.2.4.4. Repiquages des graines germées	19
2.2.4.5. Dispositif expérimental	20
2.2.5. Mesures des paramètres morpho-physiologiques.....	20
2.2.5.1. Mesure de la hauteur des parties aériennes des plantes	20
2.2.5.2. Extraction et dosage des pigments chlorophylliens	20
2.2.5.3. Extraction et dosage de la proline foliaire.....	21
2.3. Analyse statistique.....	21
3. RESULTATS ET DISCUSSION	22
3.1. Analyses physico-chimiques du sol	22
3.2. Effet de la salinité sur les paramètres morpho-physiologiques.....	23

3.2.1. Les paramètres morphologiques.....	23
3.2.1.1. La hauteur	23
3.2.1.2. La morphologie des feuilles et des tiges	24
3.2.2. Les paramètres physiologiques	25
3.2.2.1. Le taux de la germination.....	25
3.2.2.2. La vitesse de la germination.....	26
3.2.2.3. Teneurs en pigments chlorophylliens.....	27
3.2.2.4. Les teneurs en proline	30
3.3. Discussion générale	31
CONCLUSION GENERALE	34
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	35
ANNEXES	46

Introduction générale

La sécheresse et la salinisation des sols constituent les principaux facteurs limitant la production végétale. En effet, l'augmentation du poids de la matière sèche des plantes (ou le rendement des cultures) nécessite donc, l'absorption et l'évaporation par celles-ci des quantités considérables d'eau. Cette consommation importante d'eau d'irrigation est en fonction des conditions climatiques, des variétés de culture, des caractéristiques des sols, de la qualité des eaux et des méthodes d'arrosage.

Les régions semi-arides et arides sont des écosystèmes fragiles. Elles sont les plus endommagées par la salinisation des sols et elles sont caractérisées par des précipitations irrégulières, voire rares et souvent associées à une importante évaporation favorisant l'accumulation des sels dans le sol. Par ailleurs, l'eau peut parfois présenter des quantités importantes de sels et de nature variée ; son utilisation dans l'irrigation peut influencer directement sur la concentration de la solution du sol en sels, ce qui va accentuer la tendance à la salinisation des sols et limite la productivité végétale (Zid et Grignon, 1991 ; Sajjad *et al.*, 2007). Aussi, l'extraction excessive d'eau souterraine dans les régions sèches du monde pourrait également augmenter la salinité des sols et des eaux souterraines (Mukhopadhyay *et al.*, 2020).

En Algérie, la salinisation des sols est localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient. Ce phénomène est remarqué dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays, dans les hautes plaines de l'Est aux abords des Chotts et de Sebchas et dans le grand Sud (INSID, 2008).

La salinité des sols constitue donc une contrainte pour le développement des plantes ; c'est un stress abiotique qui influe négativement sur la production des cultures (Sajjad *et al.*, 2007). Elle est considérée comme un problème majeur qui affecte 6% de la surface terrestre du monde (Yang et Yan, 2018).

D'une façon générale, le stress salin réduit le développement et la croissance de la plante en affectant le fonctionnement de la photosynthèse et en perturbant la synthèse des protéines enzymatiques. La salinité peut aussi créer des changements morphologiques, voire des changements anatomiques de la plante (Sajjad *et al.*, 2007). Parmi les problèmes majeurs que rencontre la plante en cas de stress salin est le stress oxydatif qui endommage les

structures cellulaires (Hanana *et al.*, 2011 ; Rasool *et al.*, 2013).

Pour faire face au stress salin, la plante développe des mécanismes tolérants au sel. Parmi ces mécanismes la détoxification contre le stress oxydatif par libération des antioxydants. Selon Trung, (2020), la plante réalise un équilibre hydrique et ionique comme une stratégie adaptative pour éviter les effets toxiques des ions. En outre, elle synthétise et accumule des solutés compatibles, dits osmolytes organiques ou osmoprotecteurs tels que la proline, les protéines et les sucres, qui participent à l'ajustement osmotique et à des remaniements protéiques nécessaires au maintien de l'intégrité cellulaire (Kiani, 2007 ; Rasool *et al.*, 2013).

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, qui a pour objectif principal l'évaluation des effets de stress salin sur la plante « *Vicia faba*. L. ». Cette plante est une légumineuse à graine alimentaire, largement cultivée dans le monde entier. Elle a une grande importance agro-écologique grâce à sa capacité de fixation d'azote atmosphérique par les bactéries situées dans les nodules des racines.

Notre travail est organisé au tour de trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique qui portera sur le problème majeur de la salinité des sols, des eaux d'irrigation et de l'effet du stress salin sur le développement des plantes. Le deuxième chapitre est consacré à la description de la méthodologie expérimentale adoptée pour vérifier l'effet de la salinité sur le comportement de la féverole (*Vicia faba* L.). Le troisième chapitre portera sur la présentation des résultats et leur discussion. Enfin, nous terminerons par une conclusion et quelques perspectives.

Synthèse bibliographique

1. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Notions de stress salin

Le stress se définit comme étant un changement environnemental exercé sur la plante qui répond à cette modification par des mécanismes appropriés (Kordrostami et Rabiei, 2019). Selon Shavrukov (2013), le stress salin veut dire « *l'exposition des plantes à la salinité, dont le principal composant est le NaCl* ». Autrement dit, la réponse des plantes vis-à-vis de la salinité par un équipement de mécanismes. D'après Trung (2020), le stress salin est divisé en 3 catégories :

1.1.1. Stress oxydatif

Il désigne l'attaque des cellules par des radicaux libres qui sont des espèces réactives de l'oxygène (ERO), très toxiques. Ils provoquent l'oxydation des cellules qui induit à l'apparition d'un déséquilibre entre les antioxydants et les radicaux libres (pro-oxydant).

1.1.2. Stress osmotique

C'est la quantité insuffisante d'eau due à la salinité ou à la sécheresse (Rahman *et al.*, 2016). Ce phénomène provoque la fermeture des stomates qui limitent les échanges gazeux, influençant négativement sur le développement et la croissance de la plante (Shao *et al.*, 2008).

1.1.3. Stress ionique

Il se définit comme l'accumulation des ions toxiques tel que le sodium (Na^+) et le chlorure (Cl^-) dans les cellules végétales (Yang et Guo, 2018).

1.2. Généralités sur la salinité des sols

1.2.1. Notions de la salinité du sol

La salinité du sol désigne la présence des concentrations élevées de sels inorganiques dissous dans le sol (solution du sol) (Kordrostami et Rabiei, 2019). Parmi les cations, on distingue : K^+ , Mg^+ , Ca^+ et Na^+ , et parmi les anions on trouve : le nitrate (NO_3^-), le bicarbonate (HCO_3^-), le sulfate SO_4^{2-} , le chlore (Cl^-) et le carbonate (CO_3^{2-}). Les éléments suivants : la silice (SiO_2), l'aluminium (Al^{3+}), strontium (Sr^{2+}), le bore (B), molybdène (Mo) et le baryum (Ba^{2+}) se trouvent dans des sols hyper-salins (Manchanda et Garg, 2008)

Le processus qui permet de charger le sol avec des grandes quantités de sels solubles (un sel abondant) donne naissance à la salinisation (Montoroi, 1993).

L'unité de mesure de la salinité est le déci-Siemens par mètre (dS/m), indiquant la conductivité électrique de l'eau à l'aide d'un conductimètre (Hill et Koenig, 1999).

1.2.2. Les types et l'origine de la salinité

En fonction de sa source, la salinité est divisée en deux types : la salinité primaire et la salinité secondaire (Rasool *et al.*, 2013).

1.2.2.1. La salinité primaire

Elle est dite aussi une salinité naturelle. Elle est d'origine d'accumulation de sels sur de longues périodes par des processus naturels dans le sol (Kordrorami et Rabiei, 2019) aboutissent à la formation des zones salées naturellement y compris les des lacs salés, les marais salés, les marécages et les plaines salées (Chakeraborty *et al.*, 2018).

Les facteurs responsables de la salinité primaire sont :

1. L'altération des roches : les sels solubles trouvant dans ces roches sont libérés. Les principaux sels relâchés sont le magnésium (Mg), le sodium (Na), le calcium (Ca) et en moindre quantité le sulfate (SO_4^{2-}) et le carbonate (CO_3^{2-}), le chlorure de sodium (NaCl) qui est le sel soluble le plus fréquent.
2. La pluie et le vent marin qui enrichissent les sols avec de sel (Shahid, 2018).
3. Un faible drainage. (Shahid, 2018)

1.2.2.2. La salinité secondaire

C'est une salinité anthropique c'est-à-dire provoqué par l'homme. Les facteurs qui sont à l'origine de la salinité secondaire sont :

1. L'application des systèmes d'irrigations sans tenir compte à l'absence de drainage approprié
2. La surexploitation d'engrais
3. L'utilisation des eaux riches en sels et des eaux souterraines de mauvaise qualité (Rasool, 2013).

4. Le rejet des déchets agricoles chargés de résidus chimique et des eaux usées polluées des industries (Chakraborty *et al.*, 2018).
5. La surexploitation d'eau douce dans les nappes phréatiques proches de l'eau de mer : les pompages excessifs entraînent une différence de pression entre l'eau douce et l'eau de mer. Puis, intrusion de celle-ci dans la nappes phréatique et élévation des eaux souterraines saumâtres à la surface, ce qui donne naissance à une montée capillaire (IPTRID, FAO, CISEAU, 2006).

1.2.3. L'échelle de la salinité

Selon la salinité ou la conductivité électrique des sols, on distingue 5 classes (Tableau 1) :

Tableau 01 : Echelle de la salinité des sols selon Durand J.H (1983)

Classe	CE en $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 25 °C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensibles au sel
Classe III	1000 à 2000	Salé	Diminution des rendements de la plus part des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent un rendement satisfaisant
Classe V	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

1.2.4. Les signes de la salinité du sol

On peut distinguer à l'œil nu un sol salé par les indices suivants (Shahid *et al.*, 2018) :

1. La présence d'une croûte de sel blanche et la formation des taches de sel à la surface des sols secs
2. Une germination réduite ou nulle des graines
3. La fragilité des plantes et la carence de leur développement
4. Brûlures des feuilles et modification de leur couleur et de leur forme
5. L'apparition d'halophytes (plantes adaptatives aux sols salés)

1.2.5. La répartition des sols salins dans le monde

Les sols salés se trouvent généralement dans trois types de climat (Montoroi, 1993) :

1. Le climat sec (semi-désertique, steppique, tropicale sec) qui se caractérise par une forte évaporation qui limite le drainage,
2. Le climat aride en bordure des dépressions salées subdésertiques (sebkhas et chotts en Afrique du Nord, Playas en Amérique du Nord, takyr en Asie centrale) et dans les grandes vallées irriguées (Nil, Euphrate, Colorado vallées du Moyen-Orient),
3. Le climat humide en bordure de mer (polders et marais côtiers en climat tempéré, mangrove en climat tropical humide et équatorial).

1.2.6. La classification des sols salins

Les sols salins sont classés en tenant compte des valeurs de pH, du pourcentage de sodium échangeable (ESP) et de la conductivité électrique (CE) Tableau (02) (Shahid *et al.*, 2018)

Tableau 02 : les types des sols salins

Type de sol salé	pH	Pourcentage de sodium échangeable (ESP)	Conductivité électrique (CE)	Caractéristiques du sol
Salin	inférieur à 8,5(acide)	Inférieur à 15%	4 dS/ m	floculation des particules du sol en agrégat
salin-sodique	Inférieur ou supérieur à 8.5	15 %	4 dS/m	La dégradation structurale du sol
Sol sodique	8,5-10 (basique)	15 %	Inférieur à 4dS/m	Diminution de la perméabilité du sol

1.2.7. Influence de la salinité sur la plante

Généralement, la salinité a un effet négatif sur le développement des plantes. Elle peut entraîner un arrêt total ou une réduction de sa croissance provoquant des modifications morphologique, physiologique, biochimique et des changements anatomiques (Sajjad *et al.*, 2007).

1.2.7.1. Effet de la salinité sur la germination

La germination influence directement sur la densité de la plante, c'est pour cette raison qu'elle est très importante (Kordorstami et Rabiél, 2019). La salinité provoque un changement de l'activité biochimique et physiologique de la graine en arrêtant la respiration aérobie ou en stimulant les étapes cataboliques par les facteurs suivants (Shrivastava and Kumar 2015) :

- ✓ La chlorose,
- ✓ La réduction du potentiel osmotique du milieu de croissance,
- ✓ La carence des éléments nutritifs tels que le Ca, le K, le N, le Fe, le P et le Zn. Le stress dû à la salinité diminue la teneur en azote (N) et finalement la réduction des protéines des graines,
- ✓ La toxicité ionique.

1.2.7.2. Effet de la salinité sur la croissance de la plante

La réduction de la croissance par la salinité s'effectue en deux phases (Kordorstami et Rabiei, 2019) : la première phase correspond au déclin rapide de la croissance à cause de l'effet osmotique et la deuxième phase représente le lent retard de la croissance à cause de l'accumulation de sel dans les feuilles provoquant une toxicité des sels dans les plantes.

La salinité conduit à l'oxydation des acides gras ce qui entraîne la perméabilité des membranes cellulaires en provoquant une fuite d'électrolytes puis un flétrissement de la plante (Liang *et al.*, 2003).

La carence d'absorption du potassium et du calcium dû à la présence d'une quantité très importante de sodium justifie le déclin de la croissance de la plante (Mousa *et al.*, 2013 ; Juan *et al.*, 2005).

Le taux élevé du sel dans le sol limite la division cellulaire et le volume des cellules et le développement des feuilles, ce qui entraîne la réduction de l'absorption de la lumière (Kordorstami et Rabiei, 2019).

Selon le même auteur, le sodium et le chlore entraînent trois problèmes majeurs spécifiques pour les plantes supérieures :

a) *Effet osmotique*

Le sel se trouvant dans les sols exerce une force d'attraction sur les molécules d'eau provoquant une diminution d'absorption des plantes. Ces dernières fournissent une énergie excessive au sol, ce qui conduit à l'intensification de la respiration et la réduction de la croissance de la plante. Ce phénomène est nommé « sécheresse physiologique » due à la salinité. (Kafi, 2009).

b) *Effet ionique spécifique*

C'est une accumulation de SO_2 , Na^+ ou Cl^- dans les cellules de la plante (Chartzoulakis, 2011). Cela provoque l'inactivité enzymatique, la mort cellulaire puis la mort complète de la

plante (Hanumantha Rao *et al.*, 2016).

c) *Déséquilibre nutritionnel*

L'équilibre nutritionnel désigne la présence des taux appropriés de certains éléments nutritifs qui sont influencés par le sodium et le calcium. Les taux élevés de sodium entraînent la réduction d'autres cations dans la plante et perturbent l'équilibre cationique, induisant une compétition avec d'autres éléments tels que Ca^{2+} , K^+ et NO_3^- avec le sodium (El-Ramady *et al.*, 2018). Selon les mêmes auteurs, la précipitation des ions de phosphate de calcium ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) dans le sol réduit l'absorption du phosphore par les plantes.

1.2.7.3. Effet de la salinité sur la morphologie de la plante

Les symptômes indiquant l'influence de stress salin sur la morphologie des plantes sont d'après Kordorstami et Rabiei (2019) :

- ✓ La chlorose,
- ✓ L'empêchement de la croissance des feuilles à cause de la diminution de surface foliaire,
- ✓ La décroissance de l'espace intracellulaire dans les feuilles,
- ✓ La perte de poids sec et frais des pousses, des racines et des feuilles,
- ✓ L'arrêt du développement des racines, du méristème apical et la diminution de leur diamètre et leur tissu vasculaire.

1.2.7.4. Effet de la salinité sur la chlorophylle et les caroténoïdes

Le sodium dégrade la chlorophylle des feuilles formant une chlorose ; de même les taux de caroténoïdes diminuent en fonction de l'augmentation de sel dans le milieu. (Parida et Das 2005 ; Ashraf et Harris, 2013).

1.2.7.5. Effet de la salinité sur la photosynthèse

Les pigments photosynthétiques sont sensibles au stress salin et leur dégradation par ce dernier réduit l'efficacité de la photo réception des photosystèmes (PSI et PSII), conduisant à la diminution de la photosynthèse (Geissler *et al.*, 2009; Zhen-hua *et al.*, 2012). Aussi, le stress salin a un impact direct sur la surface foliaire des feuilles, soit par le stress hydrique ou soit par le stress ionique conduisant à la diminution des réserves photosynthétiques. De même,

des concentrations très élevées de sodium peuvent empêcher l'activité de la photosynthèse (Kordorstami et Rabiei, 2019). En effet, la salinité diminue d'abord la conductance stomatique dans les premiers stades de stress salin, en provoquant la fermeture des stomates à cause de la sécheresse formée par la rétention d'eau par le sel empêchant ainsi l'absorption d'eau par la plante (Piotr et Giles, 2009).

1.2.3. La tolérance des plantes à la salinité

La tolérance des plantes à la salinité exprime leur adaptation via ce facteur par une modification et une exécution de certains mécanismes physiologiques et morphologiques (Khan. *et al.*, 2020). Ces mécanismes limitent l'introduction du sel dans la plante et réduit son accumulation dans les tissus photosynthétiques et cytoplasmiques (Chandna *et al.*, 2013).

1.2.3.1. Stratégie de détoxification contre le stress oxydatif

Les formes actives de l'oxygène ou ROS (reactive oxygen species) tels que le peroxyde d'oxygène (H_2O_2), les radicaux superoxydes (O_2^-) et hydroxyl (OH) sont des éléments qui ont une réaction avec la molécule d'oxygène due à un stress abiotique notamment la salinité (Hanana *et al.*, 2011). Selon ces auteurs, elles sont toxiques pour la cellule à cause de leurs dégâts oxydatifs, c'est pour cette raison la plante possède des antioxydants (les composées phénoliques, les flavonoïdes, les anthocyanes, l'acide ascorbique et quelques enzymes : catalase (CAT), superoxyde dismutase (SOD), peroxydase (PX)) afin de limiter l'effet toxique de ces substances.

1.2.3.2. L'homéostasie hydrique contre le stress osmotique

L'homéostasie hydrique désigne le maintien d'un équilibre hydrique dans les tissus de la plante en assurant les mécanismes de transpiration et l'absorption racinaire qui récupère l'eau perdue par les stomates (la transpiration). Le stress osmotique perturbe l'homéostasie hydrique. Pour assurer un équilibre de la pression osmotique les cellules végétales accumulent dans le cytosol des solutés compatibles tel que le saccharose, la proline et la glycine bêtaïne (Trung, 2020).

1.2.3.3. Maintien de l'équilibre ionique

A) Exclusion des ions toxiques

Le sodium se trouvant en excès dans le cytosol des cellules épidermiques racinaire va être expulsé vers l'extérieur par la protéine SOS1, qui est un antiport Na^+/H^+ localisé sur la

membrane plasmique et jouant le rôle d'efflux de sodium (Na^+) (Hanana *et al.*, 2011 ; Trung, 2020) (figure 1).

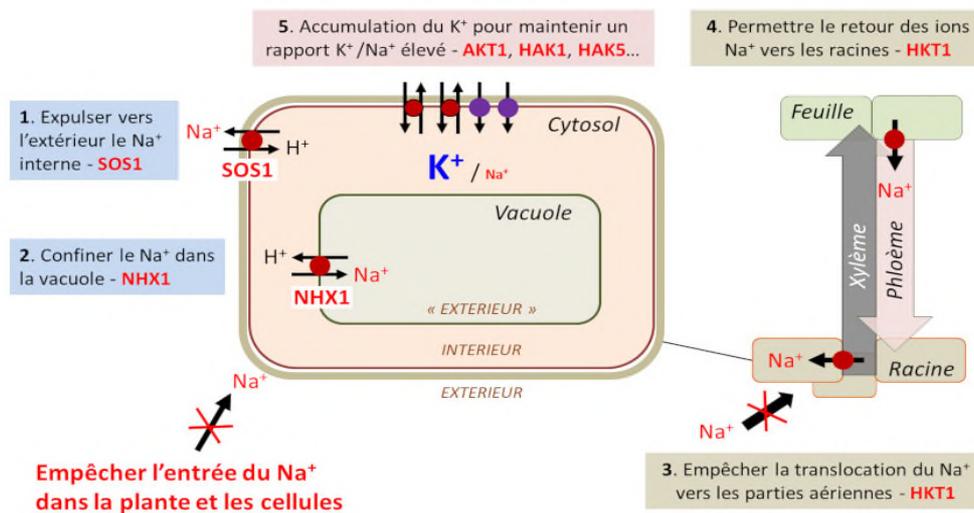


Figure 1 : mécanisme de tolérance de la plante contre le stress salin (Trung, 2020)

B) Compartimentation de sodium (Na^+)

Le sodium qui reste dans le cytosol est isolé dans la vacuole à l'aide du transporteur NKX1 qui est antiport Na^+/H^+ (Trung, 2020).

C) Le mouvement des ions de Na^+ des feuilles vers les racines et l'empêchement de leur circulation vers les parties aériennes

La présence de protéine HKT1 dans le phloème des feuilles permet de circuler le sodium (Na^+) vers les racines. Cette protéine est aussi présente dans les parenchymes du xylème racinaire pour décharger le Na^+ dans la sève du xylème vers les cellules du parenchyme xylémienne (Trung, 2020)

D) Ajustement ionique

Les vacuoles ont une concentration élevée de Na^+ à cause de la compartimentation de cet ion. Donc pour ajuster la pression osmotique au niveau du cytoplasme le rapport K^+/Na^+ augmente la concentration de potassium afin d'avoir un équilibre de la concentration d'ions (Trung, 2020).

1.2.4. Moyens de lutte contre la salinité des sols**1.2.4.1. La lixiviation**

Pour réduire la salinité dans un sol salé naturellement et dans la zone racinaire, il est conseillé d'irriguer la terre par un peu d'excès d'eau mais sans exagérer. Cette méthode permet de déplacer la solution de sel vers les aquifères en cas d'un bon drainage (Souto, 2014).

1.2.4.2. Le drainage

Selon Rémi (2018), le drainage désigne une technique entropique qui consiste à gérer l'excès d'eau dans le sol. Ce système est efficace pour enlever le sel existant dans l'eau (Souto, 2014).

1.2.4.3. La qualité d'eau d'irrigation

Il est préférable d'utiliser des sources d'eau de bonne qualité pour éviter la salinisation des sols cultivables et la contamination d'autres sols par lessivage.

1.3. Généralités sur la fève (*Vicia faba* L.)

La fève ou féverole (*Vicia faba* L.) est une légumineuse alimentaire importante, dont la culture est d'origine méditerranéenne du Proche-Orient (Adsule et Akpapunam, 1996). Elle est maintenant cultivée dans les régions tempérées et subtropicales du monde. C'est une espèce de plantes dicotylédones de la famille *Fabaceae*, appartenant à la sous-famille des *Papilionaceae* ou *Faboideae* (Lim, 2012). Elle est divisée en deux sous-espèces : *Paucijuga* et *Eufaba*. D'après Adsule et M.Akpapunam (1996), on distingue trois variétés botaniques sur la base de la taille des graines :

- *Vicia faba* (L.) var. *minor* ; haricot à tique avec des graines plus petites.
- *Vicia faba* (L.) var. *equina* ; haricot à cheval avec des graines de taille moyenne.
- *Vicia faba* (L.) var. *major* ; fèves avec des graines plus grandes.

1.3.1. Classification de *Vicia faba* (L.)

La classification adoptée par Natural Resource Conservation Service (USDA), *Vicia faba* (L.) est classée comme suit :

Royaume : Plantae - Plantes
Sous-règne : Tracheobionta - Plantes vasculaires
Super-division : Spermatophyta - Plantes à graines
Division : Magnoliophyta - Plantes à fleurs
Classe : Magnoliopsida - Dicotylédones
Sous-classe : Rosidae
Commander : Fabales
Famille : Fabaceae / Leguminosae - Famille des pois
Genre : <i>Vicia</i> L. - vesceP
Espèce : <i>Vicia faba</i> (L.) –féverole

1.3.2. Description botanique

La fève est une plante annuelle, érigée, feuillue, non ramifiée et pouvant atteindre 1 à 2 m de haut. Les tiges creuses, de section carrée et ces feuilles sont alternes, pennées, avec 2-6 folioles d'environ 50-100mm de long et un point faible à l'extrémité sans vrilles. Les fleurs sont portées sur des racèmes courts dans l'aisselle des feuilles. Il y a environ 1 à 8 fleurs par racème et elles sont de couleur blanche avec ailes noires (Duc, 1997 ; Kirk, 2004). Les fruits

sont des gousses contenant de 3 à 4 graines, peuvent être de forme ovale et aplatie et sont riches en protéines et en amidon (Adsule et Akpapunam, 1996). Le système racinaire est formé par une racine pivotante avec des racines secondaires qui portent des nodosités hébergeant des bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium leguminosarum*) (Duc, 1997).

1.3.3. Les valeurs nutritives de la fève

La féverole (*Vicia faba* L.) est une plante alimentaire importante riche en matière azotée. Selon les variétés, la féverole contient 24 à 30 % de matières azotées (Moule, 1972). Les valeurs nutritives de la fève sont présentées dans le tableau suivant (Crépon *et al.*, 2010):

Tableau 3 : les valeurs nutritives de la fève (*Vicia faba* L.) pour 100 g de portion comestible

Energie (kcal)	Eau (g)	Protéines (g)	Fibres (g)	Ca (mg)	Fe (mg)	Mg (mg)	P (mg)	K (mg)	Zn (mg)
341	10,98	26,12	25,0	103	6,70	192	421	1,062	3,14
Lipides totaux (g)	Vitamine E (mg)	Vitamine B6 (mg)	Vitamine C (mg)						
1,53	0,05	0,366	1,4						

1.3.4. Utilisation de la fève

Les féveroles peuvent être cultivées comme grains secs, fourrage ou engrais vert (Moule, 1972) et elles sont utilisées dans l'alimentation humaine. La fève est considérée comme une source de fumure organique et biologique. Elle est utilisée comme diurétique, expectorant ou tonique, lithotriptique (Lim, 2012).

1.3.5. Exigences de la culture de la fève

D'après Moule (1972), on distingue plusieurs exigences :

1.3.5.1. Exigences pédologiques

- **Eau granulométrique**

La féverole est très sensible à la sécheresse. Elle nécessite une quantité d'eau importante particulièrement durant la phase « début floraison –nouaison ».

- **Sol**

La féverole se développe dans des sols argilo- humiques, qui se caractérisent par une

capacité de rétention en eau relativement élevée (20 à 25%). Elle supporte l'acidité (pH 5 à 8). Sa culture améliore la structure du sol et son enrichissement en azote.

1.3.5.2. Exigences climatiques

La fève a une exigence thermique faible. Elle peut même résister à une température de -50°C.

1.3.6. Les contraintes de la culture de la fève

1.3.6.1. Les contraintes abiotiques

Selon Moule (1972) et Saxena (1991), les contraintes abiotiques sont comme suit :

- **La sécheresse** : elle influe négativement sur la floraison
- **Le gel hiver** : à partir de -80°C, l'épiderme des tiges se décolle
- **La salinité** : elle limite la productivité de la fève.

1.3.6.2. Les contraintes biotiques

- **La rouille** : c'est une maladie cryptogamique causée par des champignons « *Uromyces fabae* » (Geslot, 2015). Elle ne provoque pas la mort totale de la plante, mais elle l'affaiblit. D'après le même auteur, la maladie fait apparaître des taches jaunes, rouges ou brunes sur les feuilles de la plante. Elle se développe entre la période de printemps et l'automne.
- **La maladie des taches brunes** : elle est causée par des champignons « *Botrytis fabae* » (Moule, 1972). Au début de printemps, cette maladie attaque d'abord les feuilles par de petites taches brunes. Puis les fleurs ou les premières gousses dès que la température devient favorable.
- **La maladie des taches noires** : elle causée par des champignons « *Ascochyta pisi* » qui attaquent les feuilles, les gousses et les graines par des taches noires (Moule, 1972).
- **Le puceron noir** : il est causé par un puceron « *Aphis fabae* » (Moule, 1972). C'est le parasite le plus important de la fève pendant le printemps.

Matériel et Méthodes

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel

2.1.1. Le végétal

Le matériel végétal utilisé dans le cadre de ce travail est constitué de semences d'une variété locale de féverole (*Vicia faba* L. var. *minor*) (Figure 2). Les graines de cette variété, récoltées au cours de l'année 2021, nous ont été gracieusement fournies par un commerçant-agriculteur de la région de Béjaia (Algérie).



Figure 2 : Les graines de *Vicia faba* var. *minor*

2.1.2. Le sol

Le sol que nous avons utilisé pour l'expérimentation est prélevé à une profondeur de 0-20 cm dans une parcelle de l'université de Bejaia, située au Nord-est d'Algérie (36°45'01"N ; 5°02'19"E, 20 m d'altitude). Il est ensuite recueilli dans un sachet en plastique et acheminé au laboratoire pour analyse.

2.1.3. Les solutions salines

Les solutions salines (traitements) retenues dans l'étude sont préparées dans de l'eau distillée à partir du chlorure de sodium (NaCl). Les concentrations appliquées pour l'arrosage des plantes, en plus du témoin sont : 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 et 2.5% de NaCl (p/v).

2.2. Méthodes

2.2.1. Analyses physico-chimiques du sol

Une quantité du sol retenu à l'étude est séché à l'air libre pendant une semaine, puis broyé et passé sur un tamis à mailles carrés de 2 mm de diamètre. La fraction fine de terre obtenue a fait l'objet d'une série d'analyses physico-chimiques dans le but de déterminer ses principales caractéristiques pédologiques.

2.2.1.1. Détermination de l'humidité

L'humidité du sol est déterminée sur un échantillon de terre fraîchement prélevée et séchée à 105°C jusqu'à poids constant. La différence de masse avant et après séchage sert de mesure pour la teneur en eau, exprimée en pourcentage de masse selon la formule suivante :

$$\mathbf{H\% = P_1 - P_2 * 100 / P_2 - p}$$

Avec : **H** : Humidité ; **P₁** : Poids du sol frais ; **P₂** : Poids du sol sec et **p** : Poids de la tare vide.

2.2.1.2. Détermination du pH

La mesure de l'acidité du sol est effectuée sur une suspension aqueuse dont le rapport sol/solution = 1/2.5, soit dans l'eau (pH_{eau} ou acidité actuelle), soit dans une solution normale de KCl (pH_{KCl} ou acidité potentielle), au moyen d'un pH-mètre à électrode de verre préalablement étalonné à l'aide des solutions tampons de pH connus.

2.2.1.3. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (C_E) d'un sol nous renseigne sur sa teneur globale en sels dissouts. Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre sur un extrait aqueux dont le rapport sol/eau = 1/5 et elle est exprimée en μS/cm⁻¹ à 25°C.

2.2.1.4. Dosage du calcaire total

Le calcaire total du sol est déterminé par la méthode gazométrique grâce au calcimètre de Bernard. Son principe repose sur la propriété du carbonate de calcium (CaCO₃) de se décomposer sous l'action d'un acide (HCl). Le gaz carbonique dégagé est recueilli dans un tube gradué et son volume ainsi facilement mesuré. La teneur en carbonates, exprimée en %, est donnée par la formule suivante : **CaCO₃ (%) = (P.v / p.V) x 100**.

Avec : **P** : poids de CaCO₃ utilisé pour l'étalonnage ; **V** : volume de CO₂ dégagé par le poids de CaCO₃ ; **v** : volume de CO₂ dégagé par le poids du sol utilisé et **p** : poids de la prise d'essai de sol.

2.2.1.5. Dosage du calcaire actif

Le calcaire actif correspond à la partie la plus fine des carbonates de calcium. Il est déterminé par la méthode de Drouineau-Gallet, basée sur la propriété du calcium de se combiner à l'oxalate d'ammonium pour donner de l'oxalate de calcium insoluble ; l'excès d'oxalate d'ammonium est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium de titre connu, en milieu sulfurique.

2.2.1.6. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a pour but de donner la composition élémentaire du sol ou texture du sol, en classant les particules minérales en groupes correspondants à des dimensions définies selon l'échelle d'Atteberg. Après destruction de la matière organique à l'eau oxygénée (20V), du calcaire total à l'acide chlorhydrique (6N) et la dispersion des ions flocculant au pyrophosphate de sodium (40g/l), les particules fines (argiles et limons fins) sont prélevées à la pipette Robinson dans des allonges à sédimentation, à des profondeurs et à des temps déterminés par application de la loi de Stokes. La fraction grossière (sables grossiers, sables fins et limons grossiers) sont déterminés par tamisage après élimination des fractions fines par siphonage. Enfin, la texture du sol est déduite à partir du triangle de texture USDA.

2.2.2. Préparation du végétal

2.2.2.1. Répartition pondérale des graines de *Vicia faba*.var.*minor* (L.)

Afin de réduire au maximum la variabilité des résultats due aux réserves des graines et d'éviter l'hétérogénéité de l'échantillon, nous avons réparti les graines de *Vicia faba*.var.*minor* (L.) par classe de poids. Ainsi ; les semences de la féverole ont été alors triées, pesées une à une et distribuées en classes de poids. L'histogramme de la distribution pondérale des graines (Figure 3) nous a permis de choisir la classe à la fois la plus représentative et la plus restreinte possible pour l'ensemble du lot. Dans toutes nos expériences, nous avons retenu les graines de la classe [0,31-0,5].

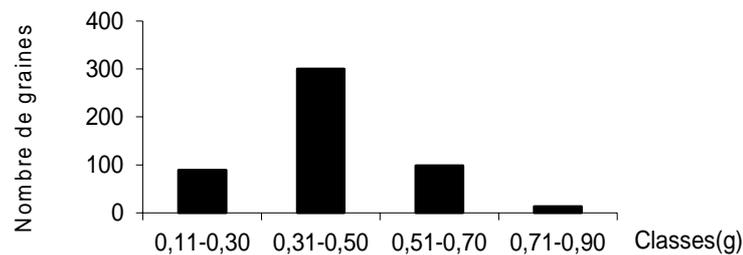


Figure 3 : Répartition pondérale des grains de *Vicia faba*.L. var. *minor*

2.2.2.2. Test de germination

Afin d'évaluer leur capacité germinative, les graines de *Vicia faba*.var.*minor* (L.) de la classe [0,31-0,5] ont d'abord été triées à la main en fonction de leur bon état visuel (notamment téguments intacts, absence de taches ou autres), elles sont ensuite désinfectées en surface par trempage durant 3 minutes dans une solution d'eau de javel à 3°, puis rincées abondamment à l'eau distillée stérile. Au dernier lavage, les graines sont laissées gonfler pendant 2 heures (imbibition), puis sont disposés dans des boîtes de Pétri de 90 mm de diamètre (préalablement stérilisées) et tapissées de coton hydrophile imbibé d'eau distillée stérile. L'essai a porté sur 30 graines, soit 3 répétitions de 10 graines par boîte de Pétri (Figure 4). Les boîtes ainsi préparées sont incubées à température ambiante du laboratoire et à l'obscurité. Les graines germées sont dénombrées quotidiennement en calculant le pourcentage cumulé de germination. Le critère de germination retenu correspondait à la percée des téguments par la radicule de l'embryon (Benmahioul et *al.*, 2010).



Figure 4 : Germination des grains de *Vicia faba*. var. *minor*

2.2.3. Effet de la salinité sur la germination des graines de *Vicia faba*.var.*minor* (L.)

L'effet de la salinité sur la germination de *Vicia faba*.var.*minor* (L.) a été évalué sur des graines préalablement désinfectées suivant le protocole décrit précédemment. Les graines ainsi traitées sont déposées par 10 dans des boîtes de Pétri de 90 mm de diamètre, tapissées de papier filtre. Dans chaque boîte de Pétri sont versées 20 ml d'eau distillée (pour le lot témoin) ou 20 ml de l'une des solutions salines correspondant aux différentes concentrations de NaCl (pour les lots traités). Chaque traitement est répété 03 fois à raison de 10 graines par boîte de Pétri. Les boîtes ainsi préparées sont mises à l'obscurité à une température ambiante de laboratoire. Le suivi de la germination est réalisé tous les 24h et l'essai prend fin lorsqu'après deux comptages successifs aucune germination n'est enregistrée. Le taux de germination est exprimé par le rapport du nombre de graines germées sur le nombre total de graines.

2.2.4. Effet de la salinité sur le développement des plantules de *Vicia faba*.var.*minor* (L.)

Cette étude a été menée dans des pots en PVC afin d'évaluer l'impact de la salinité sur le comportement éco-physiologique des plantes de *Vicia faba*.var.*minor* (L.), à travers l'étude des paramètres morpho-physiologiques.

2.2.4.1. Installation et conduite de l'essai expérimental

L'expérimentation a été conduite en conditions semi contrôlées (humidité, luminosité) dans une salle aménagée en chambre de culture, située au niveau de l'animalerie de la faculté des sciences de la nature et de la vie (Université de Bejaia).

2.2.4.2. Préparation des pots

La culture des plantes a été réalisée dans des pots en PVC d'une capacité de 2 Kg, ayant une hauteur de 12 cm et dont les diamètres supérieurs et inférieurs sont respectivement de 15,5 cm et de 10,5 cm. Afin de laisser drainer l'eau en excès et éviter l'asphyxie des plantes, le fond des pots a été perforé, puis tapissé d'environ 200 g de gravier.

Le sol utilisé a été débarrassé de débris végétaux, animaux et de cailloux, ensuite il est mis dans des pots à raison de 1,5 kg par pot.

2.2.4.3. Mise en culture des plantes

Afin de faciliter la germination, les graines de *Vicia faba*.var.*minor* (L.) de la classe [0,31-0,5] sont sélectionnées selon leur morphologie et leur aspect sanitaire (absence de contaminations). Celles-ci sont trempées dans de l'eau de Javel à 3° pendant trois minutes, puis rincées plusieurs fois à l'eau distillée afin d'éliminer les traces de chlore pouvant compromettre la germination. Pour la production de plantules, les graines sont disposées dans des boîtes de Pétri tapissées de papier filtre et espacées l'une de l'autre de manière à éviter un chevauchement des racines pouvant aboutir à une cassure au moment de repiquage. Pour éviter l'assèchement des graines, les boîtes sont arrosées avec de l'eau distillée jusqu'au développement des plantules.

2.2.4.4. Repiquages des graines germées

Après l'apparition des premières feuilles, les plantules de fève sont repiquées soigneusement et mises en pots à raison de 5 plantules par pot à une profondeur de 2 cm avec un léger tassement, puis immédiatement arrosés à l'eau distillée à 60% de la capacité de rétention du sol pour permettre un bon contact sol-graine.

2.2.4.5. Dispositif expérimental

Au 5^{ème} jour (stade 4 feuilles), les plantes ont été irriguées tous les trois jours à 60% de la capacité de rétention du sol avec les solutions salines retenues à l'étude et les plantes témoins reçoivent de l'eau distillée. L'essai est conduit selon un dispositif expérimental en blocs complet comportant 6 traitements. Chaque traitement est répété 3 fois (3 pots/traitement), soit 18 pots à raison de 5 plantes par pot. Les pots sont ensuite placés dans des bacs en blocs sur une paille, permettant l'exposition des plantes aux conditions de luminosité, sous une photopériode de 16 heures de lumière et 8 heures d'obscurité et les conditions ambiantes de la chambre de culture. Le flux lumineux est assuré par des lampes. Les pots subissent régulièrement des rotations.

2.2.5. Mesures des paramètres morpho-physiologiques

Après 20 jours de culture, les plantes sont déterrées soigneusement des pots et leurs parties aériennes sont séparées des racines. Ensuite, nous avons évalué l'influence de la salinité sur le développement du végétal, à travers les observations de la morphologie des plantes, les mesures des hauteurs des parties aériennes et enfin les dosages des pigments chlorophylliens et de la proline des feuilles de *Vicia faba* L.

2.2.5.1. Mesure de la hauteur des parties aériennes des plantes

Les hauteurs des parties aériennes des plantes de *Vicia faba* L sont déterminées à partir du collet de la plante jusqu'au bourgeon terminal. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'une règle graduée et exprimés en centimètres (cm).

2.2.5.2. Extraction et dosage des pigments chlorophylliens

Les pigments chlorophylliens sont déterminés selon la méthode de Rajalakshui et Bame (2015). L'extraction des pigments chlorophylliens est réalisée par incubation de 0,1g de feuilles fraîches dans 7ml de DMSO à 65°C pendant 30 minutes. La lecture de la densité optique des solutions obtenues est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre réglé aux longueurs d'ondes suivantes : 470nm, 645nm et 663nm après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin de DMSO. Les teneurs en chlorophylle (a, b, total) exprimées en µg/g MVF selon les équations établies par Rajalakshui, Bame (2015) ou celle établie par McKinney (1941) pour les caroténoïdes et xanthophylles.

$$\text{Chlorophylle (a) } \mu\text{g/g MVF} : [12,7(A663)-2,69(A645)] *V/P$$

$$\text{Chlorophylle (b) } \mu\text{g/g MVF} : [22,9(A645)-4,68(A663)] *V/P$$

$$\text{Chlorophylle totale } (\mu\text{g/g MVF}) : \text{Chlorophylle (a)} + \text{Chlorophylle (b)}$$

$$\text{Caroténoïdes+ Xanthophylles } (\mu\text{g/g MVF}) = [(100* A470)-(3.27*Chl a -104*Chl b)]/229$$

Avec :

A : densité optique de l'échantillon mesurée à 470nm ; 663nm et 646nm.

V : volume de l'extrait sur 1000 ml.

P : poids frais de l'échantillon en g.

2.2.5.3. Extraction et dosage de la proline foliaire

L'extraction et le dosage de la proline ont été effectués selon la méthode décrite par Bates *et al.* (1973) sur des feuilles de plantes témoins et stressées, prélevés sur 3 plantes par pot.

L'extraction de la proline est réalisée par broyage de 0,1g d'échantillons de feuilles fraîches dans 3ml d'une solution d'acide sulfosalicylique à 3%. Après incubation de 30 minutes à 100°C, le broyat est centrifugé à 5000 tours/min pendant 5 minutes.

Le dosage de la proline est effectué par incubation de 2 ml du surnageant de chaque échantillon avec 4 ml d'eau distillée et 2 ml du mélange de réactif composé de 30 ml d'acide acétique glacial, 20 ml d'eau distillée et 0.5g de ninhydrine. Le mélange est incubé pendant 1 heure au bain-marie à 100°C. Après refroidissement des échantillons dans de la glace pilée, le mélange réactionnel a été extrait avec 6 ml de toluène et le contenu a ensuite été mélangé vigoureusement pendant 15-20 secondes. Le chromophore contenant du toluène a été aspiré par la suite à partir de la phase aqueuse. L'absorbance est lue à 520 nm contre un témoin de toluène. La concentration en proline dans les feuilles des échantillons est déterminée en se reportant à une droite préparée à partir d'une gamme étalon sur la base des concentrations connues de proline (Figure 1S, Annexe1). Les teneurs de la proline sont exprimées en $\mu\text{g/MVF}$.

2.3. Analyses statistiques

Les données recueillies ont été soumises à l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur de classification à l'aide du logiciel statistique XLSTAT (2016, version 2.0). Pour compléter l'interprétation et l'identification des groupes homogènes, les moyennes significativement différentes ont été séparées par le test de Tukey (HSD) à un niveau de probabilité de 5%.

Résultats et discussion

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Analyses physico-chimiques du sol

Les résultats des différentes analyses physico-chimiques du sol retenu dans notre étude sont représentés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Résultats des analyses du sol étudié

Paramètres analysés	Résultats
Analyses physico-chimiques	
pH _{eau}	7,4
pH _{KCl}	7,2
Humidité (%)	18,09
CaCO ₃ total (%)	24,93
Calcaire actif (%)	8,12
CE (μS)/cm à 25°C	217
Analyse granulométrique	
Argiles (%)	36,93
Limons fins (%)	32,03
Limons grossiers (%)	6,94
Sables fins (%)	11,8
Sables grossiers (%)	12,3
Texture	Limono-argileuse
Couleur	Brun grisâtre très foncé (10YR 3/2)

A l'aide du code de Mancelle notre sol est brun grisâtre très foncé (10YR 3/2), avec un pH voisin de la neutralité (pH_{eau}=7,4). En tenant compte de l'échelle de classification établie par Gaucher (1968), il est considéré comme un sol neutre.

D'après le triangle de texture USDA, le sol analysé présente une texture limono-argileuse, avec des teneurs élevées en limons (38,97%) et en argiles (36,93%) et des teneurs moyennes en sables (24,1%). Ce type de sol a tendance à former une croûte sous l'effet des pluies à cause de la présence des limons en grande quantité qui peuvent provoquer la formation d'une structure massive. Toutefois, la présence de sables en quantité suffisante permet une bonne aération du sol et une circulation de l'eau, ce qui favoriserait l'enracinement et un bon développement des plantes. Par ailleurs, selon le taux d'humidité

(18%) et sa texture qui est caractérisé par la présence des teneurs importantes d'argiles (36,93%), on constate que le sol étudié a une capacité de rétention en eau relativement élevée.

La valeur enregistrée de la conductivité électrique (C_E) est de $217\mu\text{S}/\text{cm}$, indiquant que le sol étudié est classé non salé selon l'échelle de salinité établie par Durand *et al.*, (1983).

Le calcaire total est présent en proportions très importantes dans le sol (24,93%), avec des teneurs relativement élevées en calcaire actif (8,12%). La richesse de ce sol en carbonates de calcium augmente sa perméabilité et son réchauffement rapide, ce qui peut bloquer certains éléments fertilisants qui deviennent alors non disponibles pour les plantes (Soltner, 1988).

3.2. Effet de la salinité sur les paramètres morpho-physiologiques

3.2.1. Les paramètres morphologiques

3.2.1.1. La hauteur

Les résultats de la figure 5 montrent que les hauteurs, mesurées sur les parties aériennes des plantes de *Vicia faba*. var. *minor* (L.) et arrosées avec les solutions salines, ont été nettement inférieures à celles des plantes témoins arrosées avec de l'eau distillée. Ces diminutions de la taille des plantes ont été d'autant plus importantes que les concentrations en NaCl des solutions d'arrosage étaient élevées.

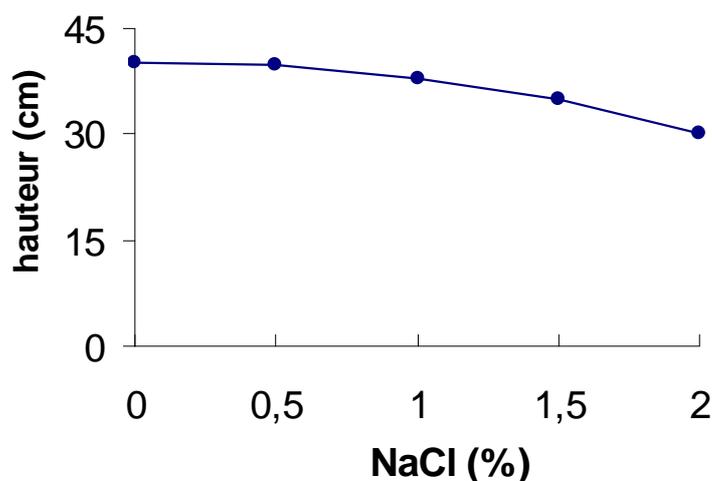


Figure 5 : Effet de la salinité sur la hauteur de *Vicia faba* var *minor* (L)

Par ailleurs, les résultats de l'ANOVA représentés dans la figure 6 indiquent que la différence entre les moyennes est hautement significative ($p=0,0001$). Le test de Tukey (HSD) montre, au seuil $\alpha=5\%$, qu'il y a 4 groupes homogènes dont le témoin (0%) qui représente le groupe (A), qui n'a pas montré une différence significative avec les traitements 0,5% et 1% qui représentent le groupe (AB). En revanche, ces deux groupes présentent des différences significatives avec le traitement 2% qui représentent le groupe (C). Par contre, le traitement 1,5% qui représente le groupe (BC) n'a pas une différence significative avec le groupe (A) et (C).

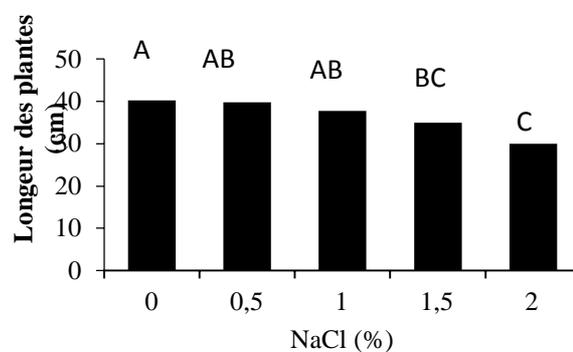


Figure 6 : classement des hauteurs des plantes de *Vicia faba var minor* (L.) en fonction des traitements. (Les histogrammes suivis de la même lettre, leurs moyennes ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha=0,05$ déterminées par le test de Tukey HSD).

3.2.1.2. La morphologie des feuilles et des tiges

D'une façon générale, les plantes irriguées avec les solutions salines présentent des changements morphologiques remarquables. Les principales anomalies observées au cours de l'essai sont des brûlures de couleur brune, situées au départ sur la pointe des feuilles qui progressent sur la surface des feuilles au fur et à mesure que la salinité des solutions d'arrosage augmente. De plus, ces plantes présentent des tiges courtes et rabougries, des flétrissements qui seront suivis d'une mort totale des plantes, contrairement aux plantes témoins arrosées avec l'eau distillée qui semblaient être saines avec une couleur vert foncé (figure 7).

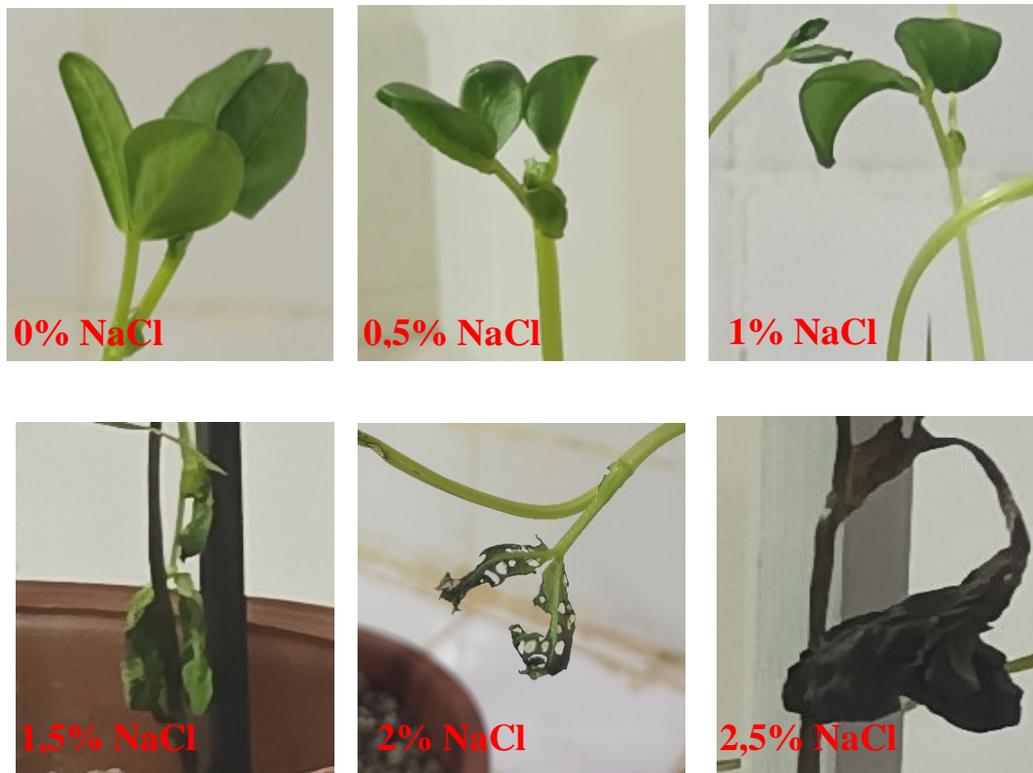


Figure 7 : Effet de NaCl sur la morphologie des plantes de *Vicia faba*. var. *minor*(L)

3.2.2. Les paramètres physiologiques

3.2.2.1. Le taux de la germination

La figure 8 montre le taux de germination des graines de la féverole en fonction des différents traitements (salinité). Les résultats obtenus indiquent que les pourcentages de germination des graines de *Vicia faba*. var. *minor* (L.) diminuent fortement lorsqu'elles sont arrosées avec des solutions salines. Ces diminutions ont été d'autant plus importantes que les concentrations en NaCl dans les solutions salines étaient élevées. Il y a de noter qu'aucune graine n'a germé en présence d'une solution saline à 2,5% de NaCl.

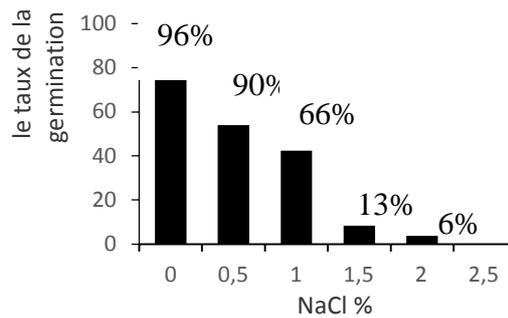


Figure 8 : Le taux de la germination des graines de *Vicia faba* var. *minor* (L)

3.2.2.2. La vitesse de la germination

Les données de la figure 9 indiquent que les taux de germination des graines, notés chez le témoin et à la concentration 0,5% de NaCl atteignent leur maximum (96,66% et 90% respectivement) au bout de septième jour. Alors qu'à la concentration de 1% de NaCl, ce taux atteint son maximum au bout de huitième jour (66,66%). A l'opposé, les pourcentages de germination des graines enregistrés aux concentrations 1,5% et 2% de NaCl diminuent significativement (13,33% et 6,66% respectivement) par rapport au témoin. Enfin, la capacité germinative des graines exprimée par rapport au témoin est inhibée complètement quand la concentration en sel dans la solution d'irrigation est de 2,5% de NaCl.

Les résultats obtenus montrent bien que l'élévation de la concentration en NaCl provoque une diminution aussi bien de la capacité germinative que de la vitesse de germination. En effet, la germination des graines est aussi précédée par un long temps de latence à partir de 1% en NaCl. Ce temps est plus long pour les concentrations de 1,5% et 2% en NaCl.

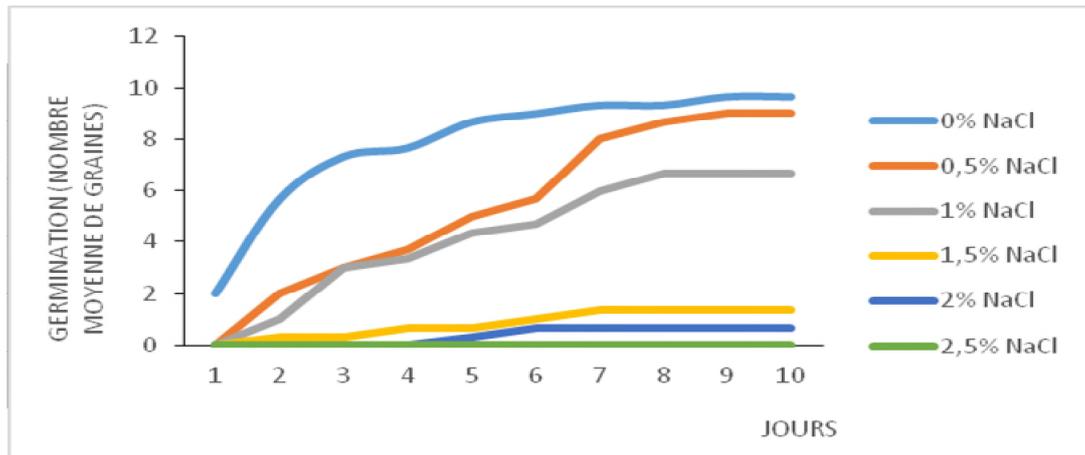


Figure 9 : Effet de la salinité sur la vitesse de la germination des graines de *Vicia faba*. var. *minor*. (L).

3.2.2.3. Teneurs en pigments chlorophylliens

La photosynthèse est un processus complexe qui peut être affecté par différents facteurs environnementaux, notamment par le CO₂, la lumière, la température, la présence d'éléments traces métalliques, la salinité qui affectent d'une manière directe ou indirecte les réactions biochimiques intervenant dans de nombreuses étapes de la photosynthèse.

Globalement, les résultats obtenus dans cette étude montrent qu'il y a un effet stress salin sur le fonctionnement de la photosynthèse chez les plantules irriguées par les solutions salines, qui ont affectées d'une manière significative les teneurs de tous pigments photosynthétiques. En outre, ces résultats indiquent que l'évolution des teneurs en chlorophylle (a) des plantes de féverole, irriguées par des solutions salines, sont comparables à celles enregistrées pour les chlorophylles (b, totale, caraténoides et xanthophylles). En effet, la figure 10 montrent que la salinité provoque des diminutions significatives des teneurs de tous les pigments chlorophylliens chez les plantes de *Vicia faba*. var. *minor* (L.), arrosées avec les solutions salines. Les pourcentage de diminution varient dans le cas de la chlorophylle (a) de 92,45%, 86,66%, 81,15% et 76,6%, ; dans le cas de la chlorophylle (b) de 96,94%, 77,6%, 69% et 49,23% ; dans le cas de la chlorophylle totale de 93,23%, 85,09%, 79,05% et 75,03% et de 97,74%, 76%, 66,96% et 44,76% pour les caraténoides et xanthophylles,

respectivement à 0,5% ; 1% ; 1,5% et 2% par rapport aux plantes témoins irriguées uniquement à l'eau distillée.

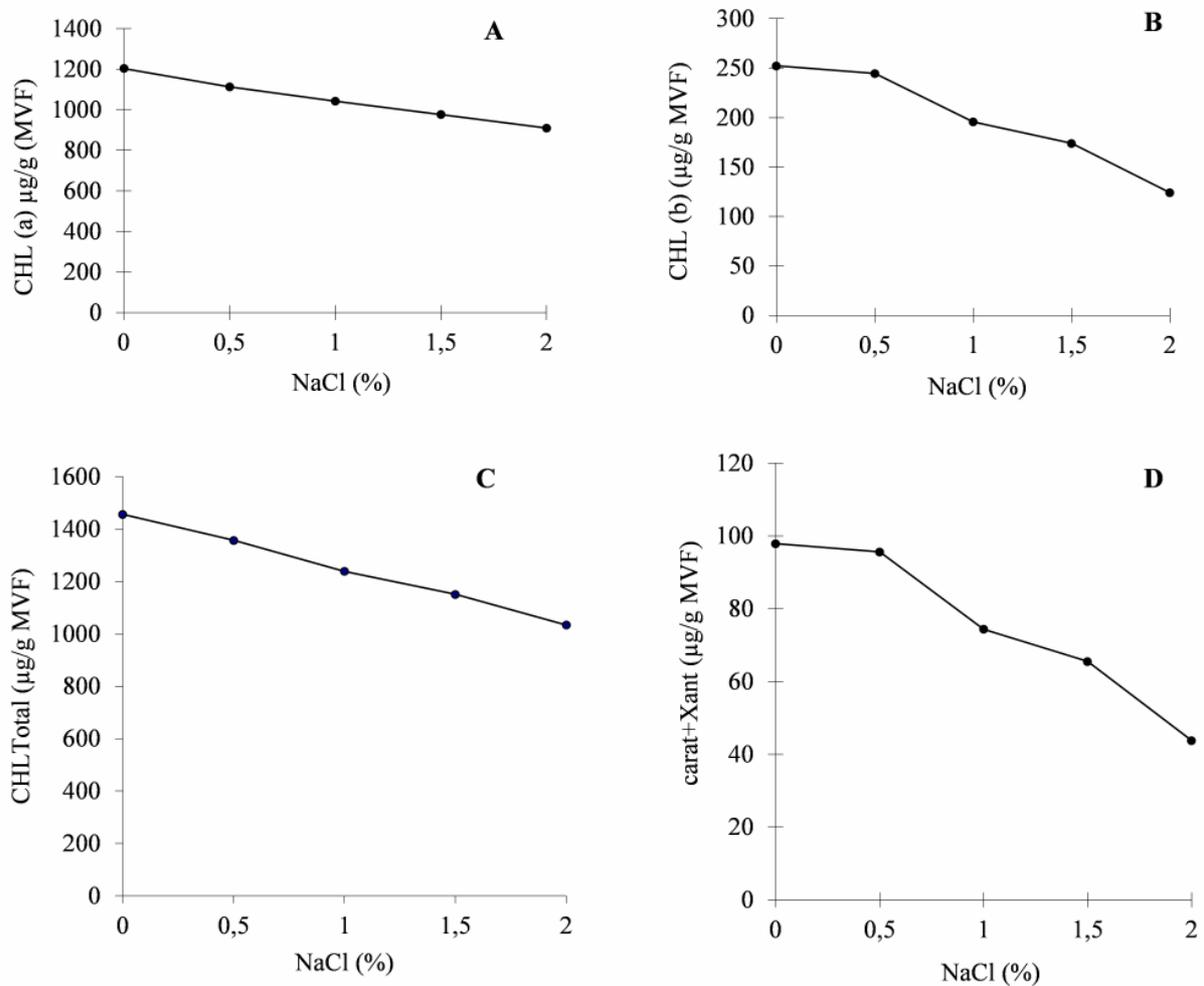


Figure 10 : Effet du NaCl sur les teneurs des pigments chlorophylliens des plantes de *Vicia faba* var. *minor* (L.) (A : Chl. a ; B : Chl. b ; C : Chl totale ; D : carat+xantho)

Par ailleurs, l'analyse de variance (ANOVA) révèle un effet très hautement significatif du facteur salinité (au seuil $\alpha=5\%$) sur les teneurs en pigments photosynthétiques (Annexe 2). Ainsi, dans le cas de la chlorophylle (a) et la chlorophylle totale, la comparaison des moyennes des différents traitements, pris 2 à 2, par le test de Tukey (HSD) a permis de classer les échantillons de plantes de *Vicia faba* var. *minor* (L.) en trois groupes homogènes selon leur niveau de sensibilité vis-à-vis des solutions salines (tableau 5).

Tableau 5 : Classement des moyennes des taux des pigments chlorophylliens en fonction des traitements

Traitements (NaCl %)	Chlorophylle a	Chlorophylle b	Chlorophylle totale	Caroténoïde+ xanthophylle
0	1203,45 ^{A(*)}	252,23 ^A	1455,68 ^A	97,85 ^A
0,5	1112,66 ^{AB}	244,52 ^A	1357,19 ^{AB}	95,64 ^A
1	1042,95 ^{ABC}	195,70 ^B	1238,65 ^{BC}	74,37 ^B
1,5	976,68 ^{BC}	174,04 ^B	1150,72 ^{CD}	65,52 ^B
2	909,81 ^C	124,18 ^C	1033,99 ^D	43,8 ^C

(*) Représente la valeur moyenne de 3 répétitions

Les valeurs d'une même colonne, suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes, telles que déterminées par le test de Tukey HSD au seuil $\alpha = 0,05$.

Le groupe A est constitué des plantes témoins dont les teneurs en chlorophylle (a) et totale ne diffèrent pas significativement de celles des plantes arrosées avec la solution à 0,5% de NaCl (groupe AB) ou avec des plantes arrosées avec la solution à 1% de NaCl (groupe ABC). Par contre, il présente des différences significatives avec les plantes arrosées par des solutions salines contenant différentes concentrations de NaCl : 1,5% (groupe BC) et 2% (groupe C). De même, le test de Tukey (HSD) a montré qu'il y a 3 groupes homogènes dans le cas de la chlorophylle (b). Le groupe A, représenté par les plantes témoins et les plantes arrosées avec la solution à 0,5% de NaCl. Leurs teneurs en pigments chlorophylliens ne diffèrent pas significativement au seuil $\alpha = 5\%$. Néanmoins, ils présentent des différences significatives avec les autres traitements (1%, 1,5% et 2% de NaCl), qui représentent respectivement les groupes (B) et (C). L'effet de la salinité s'est traduit également par la diminution significative des teneurs en caraténoïdes et xanthophylles chez les plantes arrosées avec les solutions salines. En effet, le classement des moyennes des traitements par le test de Tukey (HSD), nous a permis de distinguer également trois groupes homogènes. Les plantes témoins et les plantes irriguées avec la solution 0,5% de NaCl représente le groupe (A). Aucune différence significative n'a été observée dans ce groupe. Par contre, les traitements (1% et 1,5% de NaCl) représentant le groupe (B), présentent des différences significatives

avec le groupe A et le groupe C, ce dernier représente les plantes arrosées avec des solutions à 2% de NaCl.

3.2.2.4. Les teneurs en proline

Les résultats de la figure 11 montrent que les réponses des plantes ayant été arrosées avec des solutions salines, se sont traduites par des augmentations significatives des taux de proline par rapport à celles irriguées uniquement avec de l'eau distillée (témoin). Il y a lieu de noter que les taux de proline augmentent en fonction de l'augmentation de la concentration en NaCl dans les solutions d'irrigation. Ainsi, les teneurs de proline enregistrées chez les plantes stressées à 0,5% ; 1% ; 1,5% ; 2% et à 2,5% de NaCl sont plus élevées, respectivement égales à 19,64 ; 21,21 ; 21,5 et 24,1 $\mu\text{g/g}$ MVF, comparativement avec les plantes témoins, avec un de taux de proline de 14,98 $\mu\text{g/g}$ MVF.

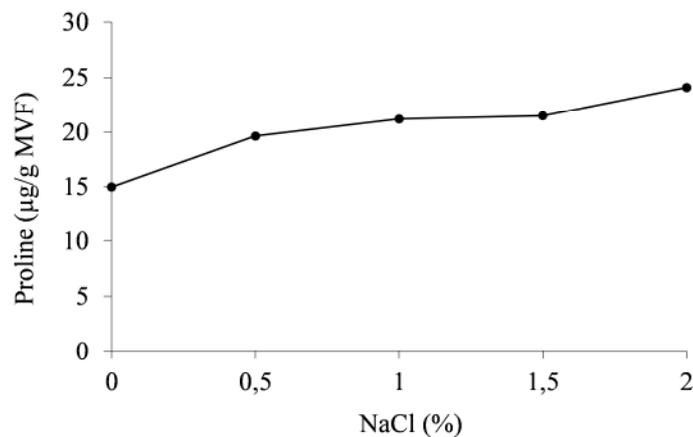


Figure 11 : Effet de NaCl sur les teneurs en la proline chez *Vicia faba*. var. *minor* (L.)

Par ailleurs, les résultats de l'ANOVA (figure 12) montrent que la salinité, pris globalement, a un effet hautement significatif sur les teneurs en proline ($p < 5\%$). En effet, la comparaison des moyennes des traitements à l'aide du test de Tukey (HSD) au seuil $\alpha = 5\%$, montre qu'il y a 4 groupes homogènes. Le témoin (0%) qui représente le groupe (A) ne présente aucune différence significative avec les traitements 0,5% et 1% qui représentent le

groupe (AB). Par contre ce groupe présente des différences significatives avec les traitements 1,5% et 2% qui représentent respectivement les groupes (B) et (C).

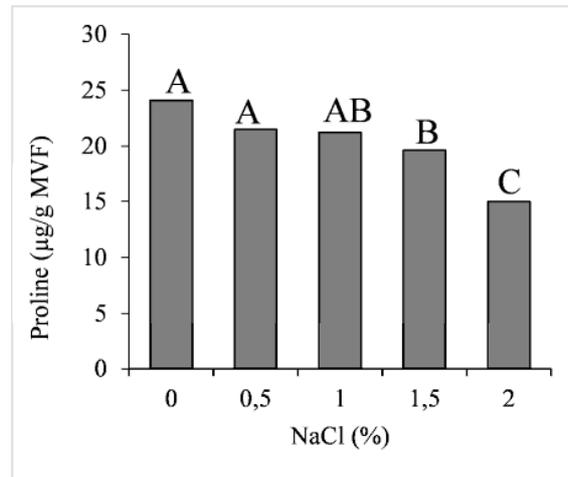


Figure 12 : Classement des teneurs en proline foliaire de *Vicia faba* var. *minor* (L.) en fonction des traitements (Les histogrammes suivis de la même lettre, leurs moyennes ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha=0,05$ déterminées par le test de Tukey HSD).

3.3. Discussion générale

La diminution de la hauteur des plantes de *Vicia faba*.var. *minor* (L.) en présence du NaCl est un signe de la réduction de sa croissance. D'après Kordostamie et Rabiei (2019), cette réduction est due à une fuite d'électrolyte par les membranes cellulaires qui sont devenues perméables à cause de l'oxydation des acides gras. Toujours selon les mêmes auteurs, l'empêchement de l'absorption d'eau par la plante à cause de la force d'attraction de sel sur les molécules d'eau conduit à une respiration intensive. Cette réaction amène à la perte d'énergie de la plante, ce qui entraîne une diminution de sa croissance. Ces auteurs ont mentionné aussi que l'accumulation de sel dans les cellules influe négativement sur leur division. Cette dernière provoque une diminution de la surface foliaire des feuilles et finalement une diminution de la photosynthèse et la réduction de la croissance de la plante entière. De plus, la perturbation d'équilibre cationique qui crée une compétition avec les cations sont parmi les principales causes de réduction de développement de la plante.

Concernant la germination de la plante de *Vicia faba. var. minor* (L.), notre étude a montré que le nombre total de graines diminue en fonction de l'augmentation de sel. Le stress salin s'est manifesté par un retard de la germination et la réduction significative de la faculté germinative chez les plantes arrosées par des solutions salines aux concentrations faibles (0,5% et 1% de NaCl). Par contre, les plantes irriguées avec les solutions aux concentrations trop élevées (2% et 2,5%), on observe une inhibition totale de la germination. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par d'autres chercheurs qui ont montré que les faibles concentrations de sel retardent la germination sans réduction de la faculté germinative. Par contre, les concentrations élevées retardent la germination aussi bien que la faculté germinative (Al-Khateeb, 2006 ; Naidoo et Kift, 2006 ; Alharbi *et al.*, 2022). D'autres travaux (Diallo *et al.*, 2013 ; Kordostamie et Rabiei, 2019) ont montré que la réduction de la germination est due à certains facteurs qui changent l'activité biochimique et physiologique des graines, en empêchant leur respiration aérobie. Parmi ces facteurs, la toxicité ionique qui désigne l'accumulation de sel dans les cellules végétale (Yang et Guo, 2018), la réduction du potentiel osmotique du milieu et la carence en éléments nutritifs tel que l'azote (N) qui un élément essentiel de la synthèse des protéines dans les graines (Kordostamie et Rabiei, 2019).

Il est admis que les pigments chlorophylliens sont des excellents bio-indicateurs de stress environnemental. La présence de NaCl dans les solutions d'arrosage a entraîné des diminutions hautement significatives des teneurs en chlorophylle (a), en chlorophylle (b), en chlorophylle totale et en caraténoïdes et xanthophylles. Les réductions des teneurs en pigments photosynthétiques observées chez les plantes de *Vicia faba. var. minor* (L.) soumises au stress salin, pourraient être dues à l'influence négative de NaCl sur l'absorption d'azote qui un élément essentiel dans la structure de la chlorophylle (Karoune *et al.*, 2017) et aussi à l'effet inhibiteur des ions Na^+ et Cl^- sur la structure des chloroplastes, par conséquent sur la synthèse des différents pigments chlorophylliens (Mane *et al.*, 2010). Il a été également rapporté que la

stimulation de l'activité de l'enzyme chlorophyllase par la salinité peut provoquer la dégradation de la chlorophylle (Sultana *et al.*, 1999). D'autre part, afin de limiter la perte d'eau à cause de la sécheresse due à la salinité, les stomates de la plante se ferment, entraînant l'inhibition des échanges gazeux notamment l'assimilation de CO₂, ceci va accélère la sénescence naturelle des feuilles, en réduisant la capacité photosynthétique (Piotr et Giles, 2009).

Comme pour les chlorophylles (a, b et totale), la salinité a provoqué des diminutions significatives des caroténoïdes chez les plantes soumises au stress salin. Il est admis que les caroténoïdes jouent un rôle d'antioxydant (Linnewiel-Hermonil *et al.*, 2016). La raison principale de la diminution de ces pigments est due à la présence d'un stress oxydatif très fort provoquant la mort cellulaire par les radicaux libres (Karoune *et al.*, 2017).

Les teneurs en proline enregistrées sont élevées chez les plantes arrosées par des solutions salines, par rapport aux plantes témoins. Nos résultats rejoignent ceux de plusieurs auteurs qui ont remarqué que les teneurs en proline augmentent en fonction de l'augmentation de NaCl (Amini et Ehsanpour, 2005 ; Rahneshan *et al.*, 2018).

Plusieurs auteurs ont rapporté que la proline est un marqueur biochimique de stress salin, elle agit comme un composé soluble compatible qui n'exerce aucun effet toxique en cas de stress salin (El-Sayed et El-Sayed, 2011 ; Hassanein *et al.*, 2012 ; Bouassaba et Chougui, 2018).

D'autre part, l'accumulation de cet acide aminé dans les cellules est due à une hydrolyse des protéines riche en proline (Ben Khaled *et al.*, 2003). En cas de stress salin la proline joue un rôle dans la protection de la membrane cellulaire, dans l'ajustement osmotique (Jaleel *et al.*, 2007 ; Yazici *et al.*, 2007), dans la détoxification des radicaux libres et la stabilisation des protéines (Naidoo *et al.*, 2008).

**Conclusion générale
&
Perspectives**

CONCLUSION GENERALE

Notre travail est une contribution à l'étude de l'effet de stress salin sur la germination, la croissance et les paramètres morpho-physiologique des plantules de *Vicia faba*. L. var. *minor*.

Les résultats de l'analyse physico-chimique montrent que le sol, retenu comme substrat dans notre travail, est relativement riche en calcaire, mais il n'est pas salin. Il présente une texture limono-argileuse, avec un pH neutre.

Par ailleurs, les résultats morpho-physiologiques obtenus dans cette étude indiquent que *Vicia faba*. var. *minor* (L.) est une espèce relativement sensible à la salinité. En effet, les solutions salines avec des concentrations en NaCl faibles (0,5% et 1%) retardent la germination sans réduction de la capacité germinative des graines de la féverole ; alors que les solutions salines avec des concentrations en NaCl élevées (1,5% ; 2% et 2,5%) affectent sévèrement, voire inhibent complètement la germination des graines.

Comme pour la germination, la salinité réduit significativement les hauteurs des plantes de *Vicia faba*. var. *minor* (L.). Ces diminutions sont plus marquées aux concentrations élevées en NaCl, accompagnées d'anomalies morphologiques observées chez les plantes stressées telles que : les brûlures des feuilles.

Nos résultats ont révélé que les plantes de *Vicia faba*. var. *minor* (L.) ont réagi également par une réduction significative des teneurs foliaires en Chl.a, Chl.b, chlorophylles totales, et les caroténoïdes en réponse au stress salin.

Concernant les teneurs en proline, les résultats obtenus montrent qu'elles sont restées plus importantes chez les plantes de *Vicia faba*. var. *minor* (L.) ayant été arrosées avec des solutions contenant différentes concentrations en NaCl, comparativement aux teneurs enregistrées chez les plantes témoins arrosées avec de l'eau distillée

L'étude que nous avons réalisée demeure incomplète, elle mérite d'être approfondie en réalisant des essais en serre contrôlée, en étudiant d'autres paramètres morphologiques, biochimiques et physiologiques, tels que : les mesures de matière sèche, des surfaces foliaires, des teneurs en eau, de la perméabilité membranaire, les dosages des protéines, des sucres solubles et des ions minéraux.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adsule.R.N et Akpapunam. M. 1996.** Faba bean (*Vicia faba* L.),). In *Food and Feed from legumes and Oilseeds* (pp 197-202). Springer, Boston, MA
- Alharbi. K., Al-Osaimi A.A. et Alghamdi B.A. 2022.** Sodium Chloride (NaCl)-Induced Physiological Alteration and Oxidative Stress Generation in *Pisum sativum* (L.): A Toxicity Assessment. *ACS Omega*, 7 (24), 20819-20832. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01427>
- Al-Khateeb. S. A. 2006.** Effect of salinity and temperature on germination, growth and ion relations of *Panicum turgidum* Forssk. *Bioresource Technology*, 97: 292-298.
- Amini. F et Ehsanpour A. A. 2005.** Soluble proteins, proline, carbohydrates and Na⁺/K⁺ changes in two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars under *in vitro* salt stress. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 1(4), 212-216.
- Ashraf M, Harris P (2013)** Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica* 51:163–190
- Ben Khaled. L. ; Gómez. A. ; Honrubia. M et Oihabi. A. 2003,** Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium, *Agronomie*, vol. 23, n° 7, pp. 553-560, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00886208>
- Benmahioul.B. ; Khelil. B. ; Kaid-Harche. M et Daguin. F. 2010.** Étude de la germination et de l'effet du substrat sur la croissance de jeunes semis de *Pistachia vera* L. *Act.Bot. Malac.*, 35: 107-114.
- Bouassaba. K et Chougui. S. 2018,** «Effet Du Stress Salin Sur Le Comportement Biochimique Et Anatomique Chez Deux Variétés De Piment (*Capsicum Annum* L.), *European Scientific Journal, ESJ* , vol. 14, n° 15, pp. 159-159, <https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/10866>
- Chakraborty. K. ; Basak. N. ; Bhaduri. D. ; Ray. S. ; Vijayan. J. ; Chattopadhyay. K. ; 2018,** Ionic Basis of Salt Tolerance in Plants: Nutrient Homeostasis and Oxidative Stress Tolerance, in *M. Hasanuzzaman et al. (eds.), Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*, pp 325-352, https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_14
- Chandna. R , Azooz M. M. et Parvaiz. A, 2013,** Recent Advances of Metabolomics to Reveal Plant Response During Salt Stress, in *Salt Stress in Plants Signalling, Omics and Adaptations*, pp 1-11, <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-6108-1>
- Chartzoulakis. K et Klapaki. G. 2000.** Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hortic.* n°86, pp. 247–260

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Crémer. S et Knoden D. 2014.** Introduction à la reconnaissance des légumineuses, Fourrages-Mieux asbl, 6p.
- Crépon. K., Marget P. ; Peyronnet C. ; Carrouee B. ; Arese P et Duc G. 2009.** Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Research*, 115(3), 329-339.
- Diallo. B. ; Samba. A.A.N., Sane D. et Diop T. 2013.** Effet du chlorure de sodium sur la germination de graines de *Ricinus communis* L. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7(4): 1534-1544. <http://ajol.info/index.php/ijbcs>
- Duc .G. 1997.** Faba bean (*Vicia faba* L.). In *Field Corps Research* , n°53 , pp 99-109.
- Durand. J. H. 1983.** Les sols irrigables. Etude pédologique. Presses universitaires de France, Paris, 339p.
- El-Ramady. H. ; Alshaal. T. ; Elhawat. N. ; Ghazi. A. ; Elsakhawy. T. ; Omara. A El-D. ; ; El-Nahrawy. S. ; Elmahrouk. M. ; Abdalla. N. ; Domokos-Szabolcsy. É et Schnug. E, 2018,** Plant Nutrients and Their Roles Under Saline Soil Conditions, in *Plant Nutrients and Their Roles Under Saline Soil Conditions*, pp 297- 314, http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-06118-0_4
- El Sayed. H.E.S.A. et El Sayed, A. 2011.** Influence of NaCl and Na₂SO₄ treatments on growth development of broad bean (*Vicia faba*, L.) plant. *Journal of Life Sciences*, 5(7), 513-523.
- Gaucher. G. 1968.** Traité de pédologie agricole. Le sol et ses caractéristiques agronomiques. Edition Dunod, Paris [FRA], 578 p.
- Geissler N. ; Hussin S et Koyro H-W. 2009.** Interactive effects of NaCl salinity and elevated atmospheric CO₂ concentration on growth, photosynthesis, water relations and chemical composition of the potential cash crop halophyte *Aster tripolium* L. *Environ Exp Bot* n°65, pp. 220–231
- Geslot. C. 2015,** Rouille : symptômes et traitement, <https://jardin-secrets.com/rouille.html>
- Guirand. J-H. 1983.** Classe de la qualité des sols. In institut-numérique, *Analyse et interprétation des résultats d'analyse des sols*, <https://www.institut-numerique.org/432-analyse-et-interpretation-des-resultats-danalyse-des-sols-52eca9e777c31>
- Hanana.M. ; Hamrouni. L. C. O. et Blumwald E. 2011.** Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes , *Environmental Reviews*, 19(NA), pp.121-140. <https://doi.org/10.1139/a11-003>
- Hanumantha Rao B. ; Nair. Rm et Nayyar. H. 2016.** Salinity and high temperature tolerance in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] from a physiological perspective. *Front Plant Sci*, n°7, pp957, <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.0095>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Hassanein. R. A., Hashem H. A. et Khalil R. R. 2012.** Stigmasterol treatment increases salt stress tolerance of faba bean plants by enhancing antioxidant systems. *Plant Omics*,5(5), 476-485.
- Hill. R. ; et Koenig. R-T. K. 1999.** Water Salinity and Crop Yield. https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1017&context=extension_his_tall,
- Hong-Bo. S. ; Li-Ye C. ; Cheruth. A, J. ; et Zhao. C-X. 2008.** Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants, *comptes rendus biologique*, n°3, pp. 215-225, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1631069108000048>
- IPTRID. ; FAO ; et CISEAU. 2006.** salinisation induite par l'irrigation , <http://www.jstor.org/stable/1523706?origin=crossref>
- Jaleel. C. A., Manivannan P., Lakshmanan, G.M.A., Sridharan R. et Panneerselvam R. (2007).** NaCl as a physiological modulator of proline metabolism and antioxidant potential in *Phyllanthus amarus*. *Comptes Rendus Biologies*, 330(11), 806-813.
- Juan. M. ; Rivero. RM. ; Romero. L et Ruiz. JM. 2005.** Evaluation of some nutritional and biochemical indicators, *in selecting salt-resistant tomato cultivars*, *Environ Exp Bot* n°54, pp.193–201
- Kafi. M. 2009.** The effects of salinity and light on photosynthesis, respiration and chlorophyll fluorescence in salt-tolerant and salt-sensitive wheat (*Triticum aestivum* L.), cultivars. *J. Agric. Sci. Technol.* n°11, pp. 535–547
- Karoune. S. ; Kechebar. M.S.A. ; Halis. Y et Djellouli. A. ; 2017,** Effet du stress salin sur la morphologie, la physiologie et la biochimie de l'Acacia albida, *Journal Algérien des Régions Arides (JARA)*, n° 14, p. 14, <https://www.crstra.dz/telechargement/journals/jara-14-2017/pdf/effet-du-stress-salin-sur-la-morphologie-la-physiologie-et-la-biochimie-de-l-acacia-albida.pdf>
- Khan. M. A. ; Zaheer Ahmed M. et Hameed A. 2020** - Effect of sea salt and Lascorbic acid on the seed germination of halophytes. *Journal of Arid Environments*, 67: 535–540
- Kirk W.D. 2004.** Faba bean: *Vicia faba*. *Bee world*, 85(3), 60-62. <http://dx.doi.org/10.1080/0005772X.2004.11099625>
- Kordrostami. M et Rabiei. B. ; 2019,** Salinity Stress Tolerance in Plants: Physiological, Molecular, and Biotechnological Approaches, *in Plant Abiotic Stress Tolerance*, pp 101-127, http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-06118-0_4
- Koushik. C. ; Nabaneeta. B. ; Debarati. B. ; Soham. R. ; Joshitha. V. ; Krishnendu. C et Ramani K. S. 2018,** Ionic Basis of Salt Tolerance in Plants: Nutrient Homeostasis and Oxidative Stress Tolerance , in Hasanuzzaman. M. ; Fujita. M. ; Oku. H. ; Nahar. K. ; Hawrylak. N. B. ; *Plant Nutrients And Abiotic Stres Tolerance*, <http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-9044-8>
- Lang. L. ; Aixia. X. ; Juan. D. ; Yan. Z. ; Na. Z. ; Zhengshu. T. ; Yaping Liu. ; Yang.**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- W. ; Xia. L. ; Fenghao. L. ; Bingbing. Z. ; Mengfan. Q. ; Jazira. D et Zhen. H. 2017.** Quantitative trait locus mapping of salt tolerance and identification of salt-tolerant genes, in *Brassica napus L. Front Plant Sci* n°8:pp. 1000.
- Liang Y, Chen Q, Liu Q, Zhang W, Ding R. 2003.** Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare L.*). *J. Plant Physiol.* 160:1157–1164
- Lim. T.K. 2012.** *Vicia faba* , In *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants* ; pp. 925-936, http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-1764-0_97
- Linnewiel-Hermoni. K. ; Paran. E et Wolak. T. 2016,** Carotenoid Supplements and Consumption, in *Molecular Basis of Nutrition and Aging*, Elsevier, pp. 473-489, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128018163000340>
- Manchanda. G. et Garg. N. 2008.** Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta Physiol Plant* n°30. pp. 595–618
- Montoroi. J.P.1993,** Cours les sols salés, https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-03/37299.pdf
- Moule. C. 1972 ;** Fèves et fèveroles *Vicia faba L.* (2n=12). In *plantes sarclées et diverses* , pp 3-14. <http://biblio.rsp.free.fr/Pdf/Sarcl1.pdf>
- Mousa. MA. ; Al-Qurashi. AD et Bakhshwain. AA. 2013.** Response of tomato genotypes at early growing stages to irrigation water salinity. *J. Food Agr. Environ.* n°11. pp.501–507
- Mukhopadhyay. R. ; Sarkar. B. ; Jat. H.S. ; Sharma. P.C et Bolan. N.S. 2021,** Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security, *Journal of Environmental Management*, vol. 280, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479720316613>
- Naidoo. G et Kift J. 2006.** Responses of the saltmarsh rush *Juncus kraussii* to salinity and waterlogging. *Aquatic Botany*, 84: 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.10.002>
- Naidoo. G. ; Somaru R. et Achar, P. 2008.** Morphological and physiological responses of the halophyte, *Odysea paucinervis* (Staph)(Poaceae), to salinity. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 203(5), 437-447. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2007.08.003>
- Parida. K et Das. A-B. 2005.** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicol Environ Saf* n°60, pp. 324–349
- Piotr. S et Giles. N.J. 2008.** Contrasting Responses of Photosynthesis to Salt Stress in the Glycophyte *Arabidopsis* and the Halophyte *Thellungiella*: Role of the Plastid Terminal Oxidase as an Alternative Electron Sink, <https://academic.oup.com/plphys/article/149/2/1154/6107832>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Poor Mohamed Kiani. S. 2007.** Analyse génétique des réponses physiologiques du tournesol (*Helianthus annuus* L.) soumis à la sécheresse. Thèse de doctorat en Génétique et Amélioration des plantes. Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSAT).Toulouse:720-721.
- Rahman-Ismail Md. M. 2016.** water stress in plant. <https://www.intechopen.com/books/5284>
- Rahneshan. Z. ; Nasibi. F et Moghadam. A.A. 2018,** Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks, *Journal of Plant Interactions*, vol. 13, n° 1, pp. 73-82, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17429145.2018.1424355>
- Rasool. S. ; Hameed. A. ; Azooz. M. M. ; Rehman. M-u. ; Siddiqi. T . O et Parvaiz. A. 2013,** Salt Stress: Causes, Types and Responses of Plants. In *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*, pp1-17, <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-4747-4>
- Ray.M-C,** définition stress oxydatif. <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-stress-oxydatif-15156/>
- Sajjad, A. ; Anwar, F. ; Hussain, A. I. ; Ashraf, M. et Awan A. R. 2007.** Does Soil Salinity Affect Yield and Composition of Cottonseed Oil?, *Journal of the American Oil Chemists Society*, n°9, pp.845-851, <http://doi.wiley.com/10.1007/s11746-007-1115-8>
- Schneider .A. ;Huyghe.C. ;Maleplate .T. ;Labalette .F. ;Peyronnet.C et Carrouée .B. 2015.** Rôle des légumineuses dans l'agriculture française. In *les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables* , pp11-77 , <https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/legumineuses-ouvrage-quaee-2015.pdf>.
- Shahid.A. Shabbir. ; Zaman. M, et Heng. L. 2018,** Introduction to Soil Salinity, Sodicity and Diagnostics Techniques, in *M.Zamanetal., GuidelineforSalinity Assessment,Mitigation andAdaptation Using Nuclear and Related Techniques*, pp. 1-42, http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-96190-3_1
- Shao. H-B. ; Chu. L-Y. ; Jaleel, C-A et Zhao. C-X. 2008,** Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, vol 331. n°3. pp. 215-225, 10.1016/j.crvi.2008.01.002
- Shavrukov. Y, 2013,** Salt stress or salt shock: which genes are we studying?, *Journal of Experimental Botany*, vol 64, n°1, pp 119-127, <https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/ers316>
- Shrivastava. P et Kumar. R. 2015.** Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi J. Biol Sci* n° 22. pp.123–131.
- Soltner, D. 1988.** Les bases de la production végétale. Le sol-le climat-la plante. Tome 1: le sol. Edition : collection Sciences et Techniques, 16^{ème} édition. «Le clos Lorelle».

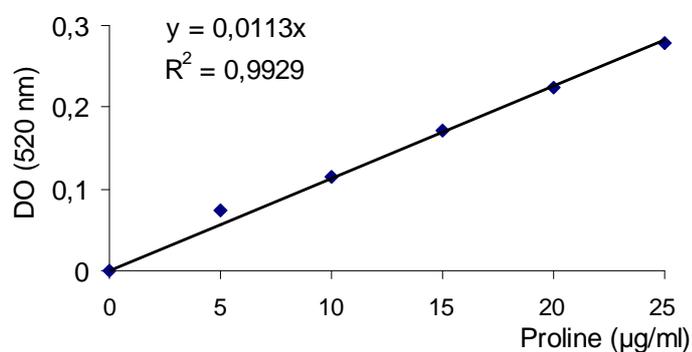
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Sainte-Gemmes-Sur Loire, 49000 Angers, France, 453 p.

- Souto. E. 2014.** La salinisation des sols menace le sel de la terre , <https://www.consoglobe.com/salinisation-des-sols-cg>
- Sultana. N. ; Ikeda. T et Itoh. R. 1999,** Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains, *Environmental and Experimental Botany*, vol. 42, n° 3, pp. 211-220, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098847299000350>
- Trung. L-D, 2020,** Comment les plantes supportent-elles un régime salé ?, <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/comment-plantes-supportent-regime-sale/>
- Waqas-ud-D. K. ; Mohsin. T. ; Rabia. S. ; Mohsin. A et Fiza. P. 2020.** An Overview of Salinity Tolerance Mechanism in Plants , in. Hasanuzzaman. M and Tanveer M., *Salt and Drought Stress Tolerance in Plants*, pp. 1-16, Westfalen. N, Hasanuzzaman. M and Tanveer. M.; <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-40277-8>
- Yang. Y. et Yan. G. 2018.** Unraveling salt stress signaling in plants, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jipb.12689>
- Yazici I. ; Türkan I. ; Sekmen. A.H. et Demiral. T. 2007.** Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environmental and Experimental Botany*, 61(1), 49-57.
- Zaman. M. ; Shahid. S. A et Heng. L. 2018.** Introduction to Soil Salinity, Sodicity and Diagnostics Techniques. *In Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*, pp. 1-42, http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-96190-3_1
- Zhen-hua Z. ; Qiang L. ; Hai-xing S. ; Xiang-min R. ; Ismail A.M. ; (2012),** Responses of different rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to salt stress and relation to carbohydrate metabolism and chlorophyll content. *Afr J Agr Res* 7:19–27
- Zid. E et Grignon. C. 1991.** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, AUPELF-UREF. Jon Libbey Eurotext, Paris, 91-108.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Annexes

ANNEXE1**Figure :** Courbe étalon de la proline**ANNEXE 2****Résultats de l'analyse de la variance****La chlorophylle (a)**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	4	157650,184	39412,546	7,588	0,004
Erreur	10	51943,402	5194,340		
Total corrigé	14	209593,586			

La chlorophylle (b)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	4	33401,066	8350,266	56,415	< 0,0001
Erreur	10	1480,159	148,016		
Total corrigé	14	34881,225			

La chlorophylle totale

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	4	331207,285	82801,821	15,712	< 0,0001
Erreur	10	52700,415	5270,041		
Total corrigé	14	383907,700			

Les caroténoïdes et xanthophylles

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	4	6033,166	1508,292	47,042	< 0,0001
Erreur	10	320,624	32,062		
Total corrigé	14	6353,790			

La proline

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	4	136,238	34,060	27,610	< 0,0001
Erreur	10	12,336	1,234		
Total corrigé	14	148,574			

La hauteur

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	4	212,025	53,006	14,984	< 0,0001
Erreur	10	35,375	3,537		
Total corrigé	14	247,400			