

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
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 :

Gana Aymen Abdelkamil

Chaib Abdelhafidh

Thème

**Effet du Stress Salin sur les paramètres de
tolérance chez la Fève (*Vicia Faba* L.)**

Jury:

Présidente : M. HASSANI Abdelkrim

Encadrante : ZERROUKI Mimouna

Co-encadrant : BOUZID Assia

Examinatrice: SOUALMI Nadia

Grade

Professeur

MAB

MCB

MAA

Année universitaire 2023-2024

Remerciements

Nous remercions d'abord , Dieu le tout puissant qui nous a donné la patience et le courage pour réaliser ce modeste travail .

Nous exprimons nos remerciements le plus sincères à notre professeur et encadrante Mme . Zerrouki et Mme Bouzid pour ses précieux conseils , ses encouragements, leur suivi continu et surtout leur patience.

Nous remercions aussi les membres du jury qui ont accepté de lire ce travail et de l'évaluer.

Nous n'oublions pas de remercier M. Adda Ahmed pour ses conseils et ses directives, ainsi que pour toute l'aide qu'il nous a apportée

Enfin , nous remercions tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de cette recherche.

Dédicace

*C'est avec un immense honneur que je dédie ce
travail à :*

*Mes très chers parents qui m'a vraiment
aidée par son encouragement durant toute ma
vie .*

*Mon oncle Abderrahmane pour mon aide et
mes nombreux conseils.*

A mes sœurs

*Et à toute ma famille « CHAIB » , petite et
grande.*

A toutes mes amies .

abdelhafidh

Dédicace

*Avec tout honneur et fierté , je dédie ce
modeste travail :*

A mes chers parents

A mes frères

A ma chère sœur

A mes chers amis

*qui m'ont vraiment aidé par leurs
encouragements et leurs soutiens pendant la
réalisation de ce travail .*

Aymen

Résumé :

Le présent travail a pour but d'étudier la tolérance de la fève (*Vicia faba* L.) vis-à-vis de la salinité essentiellement les paramètres de l'ajustement osmotique (paramètres biochimiques).

Pour réaliser ce travail nous avons opté pour une culture en pots. Trois variétés de la fève *Vicia faba* L. ont fait l'objet de nos expérimentations : Sofia, Ouiza otona et Carlo de luna. La culture des plantes s'est faite sous serre dans des conditions semi-contrôlées.

Le travail proposé permet d'étudier la plante (fève) *Vicia faba* L. conduite dans un milieu salin à base NaCl de quatre traitements à des concentrations 0, 50, 100 et 150 meq/mmol durant 4 semaines (jours) sur paramètres physiologiques (la teneur relative en eau (RWC)), et paramètres biochimiques (la proline (mg/l), les sucres solubles (mg/g MF), protéines (mg/l), Na^+ et K^+ (ppm)).

Les résultats obtenus ont montré que l'espèce *Vicia faba* L. est sensible à la salinité à des concentrations de 150 meq/l. Il a été enregistré également que le stress salin a entraîné des perturbations physiologiques et biochimiques affectant très hautement significatif à tous les paramètres étudiés.

A partir de notre résultats, on observe suite à l'application de stress, la teneur relative en eau (RWC), la teneur en protéines et le K^+ sont diminuées dès que la concentration de stress salin (NaCl) augmente, par contre la teneur en sucres solubles, la teneur en proline et le Na^+ sont augmentés. Donc, on peut dire que la teneur en sucre soluble et la teneur en proline sont des indicateurs à la salinité.

Les mots clés : fève, stress salin (NaCl), salinité, paramètres physiologique et biochimiques

المخلص:

تهدف الدراسة الحالية إلى دراسة تحمل البقول الواسعة (*Vicia faba* L.) تجاه الملوحة، مركزة بشكل أساسي على معايير التكيف الاسموزي (المعايير الكيميائية).

لإجراء هذه الدراسة، اخترنا زراعة النباتات في أواني. تمت تجربة ثلاثة أصناف من *Vicia faba* L. في التجارب الخاصة بـ Sofia، Ouiza otona، و Carlo de luna. تم زراعة النباتات في بيت زجاجي تحت ظروف شبه مُسيطر عليها.

تتناول الدراسة استجابة *Vicia faba* L. لظروف الملوحة باستخدام معاملات مبنية على NaCl بتركيزات 0، 50، 100، و 150 ميكاول/مول على مدار 4 أسابيع (أيام)، مع التركيز على المعايير الفيزيولوجية نسبة الماء النسبية (RWC) والمعايير الكيميائية (البرولين (ملغ/لتر)، السكريات القابلة للذوبان (ملغ/غرام من الوزن الطازج)، البروتينات (ملغ/لتر) و Na^+ و K^+ جزء في المليون).

تشير النتائج المحصلة إلى أن *Vicia faba* L. حساسة للملوحة عند تراكيز 150 ميكاول/لتر. كما لوحظ أن التوتر الملحي تسبب في اضطرابات فيزيولوجية وكيميائية كبيرة، مؤثرة بشكل كبير على جميع المعايير المدروسة.

استناداً إلى نتائجنا، لوحظ أنه تحت ظروف التوتر، تنخفض نسبة الماء النسبية (RWC)، ومحتوى البروتين، ومستويات الكالسيوم (K^+) مع زيادة تركيز NaCl. وبالمقابل، تزداد محتوى السكريات القابلة للذوبان، ومحتوى البرولين، ومستويات الصوديوم (Na^+). لذلك، يمكن اعتبار محتوى السكريات القابلة للذوبان ومحتوى البرولين مؤشرات على التوتر الملحي.

الكلمات المفتاحية : فول البقول، الإجهاد الملحي (NaCl)، الملوحة، المعايير الفيزيولوجية والكيميائية

Abstract :

The present study aims to investigate the tolerance of the broad bean (*Vicia faba* L.) to salinity, focusing primarily on osmotic adjustment parameters (biochemical parameters).

To conduct this study, we opted for pot culture. Three varieties of *Vicia faba* L. were subjected to our experiments: Sofia, Ouiza otona, and Carlo de luna. The plants were cultivated in a greenhouse under semi-controlled conditions.

The study examines the response of *Vicia faba* L. to saline conditions with NaCl-based treatments at concentrations of 0, 50, 100, and 150 meq/mmol over a period of 4 weeks (days), focusing on physiological parameters (relative water content (RWC)) and biochemical parameters (proline (mg/l), soluble sugars (mg/g FW), proteins (mg/l), Na^+ and K^+ (ppm)).

The results obtained indicate that *Vicia faba* L. is sensitive to salinity at concentrations of 150 meq/l. It was also observed that saline stress caused significant physiological and biochemical disturbances, significantly affecting all studied parameters.

Based on our findings, we observed that under stress conditions, relative water content (RWC), protein content, and K^+ levels decrease as NaCl concentration increases. Conversely, soluble sugar content, proline content, and Na^+ levels increase. Therefore, soluble sugar content and proline content can be considered indicators of salinity stress.

Keywords: broad bean, saline stress (NaCl), salinity, physiological and biochemical parameters



Table des matières

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Table des matières

Liste des Tableaux

Liste des Figure

Introduction générale01

Partie 01 : Revue Bibliographique

Chapitre I :

Description détaillée du matériel végétal utilisé, la fève

1-Présentation de la fève.....	05
2-Historique de la fève.....	05
3-Caractéristiques morphologie de la fève	05
3-1-Rcines	06
3-2-Tiges	06
3-3-Feuilles	07
3-4- Fleurs	07
4-Variétés de la fève	07
4-1-Principales variétés actuelles	07
4-2-Variétés très précoces.....	07
4-3-Variétés précoces	07
4-4-Variétés demi-précoces	08
4-5-Variétés tardives.....	08
5-Classification botanique	08
6-Exigences pédoclimatiques	09
7-Production de la fève	09
7-1-Production mondiale	09
7-2-Production nationale	09

Chapitre II :

Explication du stress salin, ses effets sur les plantes et les mécanismes d'adaptation des plantes face à ce stress.

1-Définition.....	12
2- Effet du stress salin sur la plante.....	12
2-1- Effet osmotique	12
2-2-Effets physiologiques	13
2-3- Effet sur la germination	13
3-Stratégies d'adaptation des plantes au stress salin	14
3-1-Exclusion	14
3-2-Inclusion (Compartimentation)	15
3-3-Accumulation de substances d'ajustement osmotique	15
3-4- Synthèse d'antioxydants	17
3-5- Régulation de croissance	17

Deuxieme Partie : Partie Expérimentale

Chapitre III :

Description des matériels et des méthodes adoptées au cours de cette expérimentation.

1- Objectif de l'étude.....	21
2- matériel Le végétal utilisé	21
3- Conditions de l'expérimentation.....	21

3-1-Localisation de l'essai	21
3-2-Conditions et conduite de culture.....	22
3-2-1 Germination des graines	22
3-2-2- Empotage et repiquage des plantules	23
3-2-3- Préparation du substrat de culture	23
3-2-4- Conduite de l'essai et Plan expérimental	23
3-2-5- Irrigation et application du stress	25
3-2-6- Le traitement phytosanitaire	26
4- Paramètres de tolérance étudiés.....	26
4-1-Paramètres physiologiques.....	26
4-1-1- La teneur relative en eau	26
4-2-Paramètres biochimiques	27
4-2-1- Dosage des sucres soluble	27
4-2-2- Dosage des cations K ⁺ et Na ⁺	28
4-2-3- Dosage de proline	29
4-2-4- Dosage des protéines	31

Chapitre V :

Analyse et discussion des résultats obtenus concernant l'impact du stress salin sur la fève.

1- paramètres physiologiques	33
1-1- Teneur relative en eau.....	33
2- paramètres biochimiques	34
2-1- Taux des sucres	34
2-2- Teneur en proline.....	37
2-3- Teneur en protéine	38
2-4- Taux de sodium	40
2-5- Taux de potassium	42
3- Discussion.....	44
Conclusion générale	52
Références Bibliographie.....	54



Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

N°	Les titres	Pages
01	Evaluation de la superficie et production de la fève et féverole en Algérie (ONS 2010-2019)	10
02	les principales origines du matériel végétal utilisé	19
03	Différentes concentration des solutions saline	22
04	compositions de la solution nutritive	24
05	effet du génotype, de traitement stress salin et de leurs interactions sur le paramètre physiologiques mesurés chez les 3 génotypes	31
06	Résultats moyenne de la teneur relative en eau chez les génotypes testés et sous les quarte traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150meq/mmol)	32
07	effet du génotype, de traitement stress salin et de leurs interactions sur les paramètres biochimiques mesurés chez les 3 génotypes.	33
08	Résultats moyenne du taux des sucres chez les génotypes testés et sous les quarte traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150meq/mmol)	34
09	Résultats moyenne de la teneur en proline chez les génotypes testés et sous les quarte traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150meq/mmol).	36
10	Résultats moyenne de la teneur en protéine chez les génotypes testés et sous les quarte traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150meq/mmol).	38
11	Résultats moyenne du taux de sodium chez les génotypes testés et sous les quarte traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150meq/mmol).	40
12	Résultats moyenne du taux de potassium chez les génotypes testés et sous les quarte traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150meq/mmol)	41
13	Matrice de corrélation	48



Liste des figures

Liste des figures

N°	Les titres	Pages
01	Les différentes parties de la fève(<i>Vicia faba</i>), planche botanique de 1885(wikipedia.org)	06
02	Effets délétères liés à la toxicité du stress salin et réponse cellulaire mise en place pour assurer la tolérance	14
03	Site expérimental	20
04	Germination graines	20
05	Plantule de variétés de fève (<i>Vicia Faba L</i>), Et repiquage-le dans les pots	21
06	vue générale de l'essai 1	22
07	Dispositif expérimental	23
08	Extraction des sucres	25
09	Le mélange extrait-réactif après maintenu dans par macération des feuilles de les variétés de la glace fondante de la fève (<i>Vicia faba L.</i>) dans l'éthanol	25
10	spectrophotomètre	26
11	Le mélange fini après filtration	27
12	spectrométrie d'absorption atomique	27
13	Tubes dans lesquels le mélange après ébullition d'un bain-marie pendant 30 minutes	28
14	Dosage des protéines totales	29

Listes des Abréviation

Cl : Chlore
Na : Sodium
K : Potassium
TRE : Teneur en eau relative
RWC : Relative Water Content
meq/mmol : Milliéquivalents par milli mole
mmol : Millimole
Fe : Fer
Mn : Manganèse
Mo : Molybdène
Cu : Cuivre
Zn : Zinc
B : Bore
ppm : Parties par million
Pf : Poids frais
Ps : Poids sec
Pr : Poids réhydratation
MF : Matière fraîche



Introduction générale

Introduction générale :

Le stress salin est l'un des principaux facteurs abiotiques affectant environ 7 % des terres mondiales, soit près de 1000 millions d'hectares (Amanturdiev 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, 3,2 millions d'hectares sont touchés par ce phénomène (Bouassaba et Chougui, 2018).

La salinisation des sols peut être d'origine primaire ou naturelle, résultant de l'accumulation de sel par des processus naturels dus à une teneur élevée en sel du matériau d'origine ou des eaux souterraines. Elle peut également être secondaire ou anthropique, causée par la mauvaise qualité de l'eau d'irrigation, la surirrigation, un drainage inapproprié qui entraîne la remontée des sels à la surface du sol, ainsi que la surexploitation des eaux souterraines dans les régions côtières (Yuvaraj et *al.*, 2021).

Le stress salin freine la croissance des plantes, en particulier celle des légumineuses, en perturbant divers processus physiologiques et morphologiques, réduisant ainsi directement la productivité de ces cultures (Misra et *al.*, 2006). En conditions stressantes, les plantes peuvent réagir en mettant en œuvre des mécanismes physiologiques et biochimiques impliquant une activité enzymatique (Chaffei et *al.*, 2004).

Un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu 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 bétaine, β-alaninebétaine, prolinebétaine). 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, le stade de développement et le degré de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés

Introduction générale

(acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes 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 plantes. Il protège les membranes et les systèmes enzymatiques, surtout dans les organes jeunes, la proline jouant un rôle dans le maintien des pressions cytosol-vacuole et la régulation du pH (Hassani et *al.*, 2008).

L'objectif de ce travail est évaluer la tolérance à un potentiel hydrique faible de la fève (*Vicia Faba L*) soumises à un stress salin à travers l'étude des différents paramètres de l'ajustement osmotique (paramètres biochimiques).

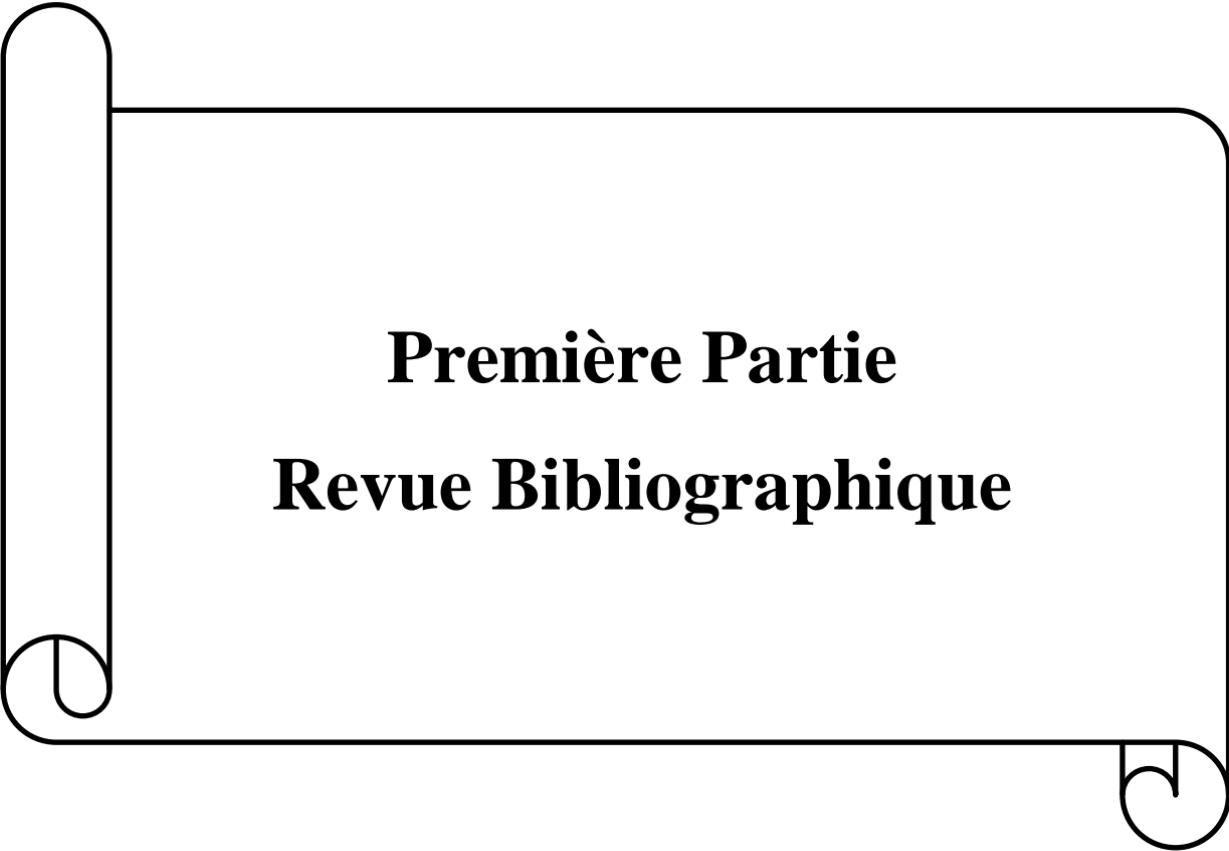
Le travail est subdivisé en deux parties :

1. Première Partie : Revue Bibliographique

- ✓ **Chapitre 1** : Description détaillée du matériel végétal utilisé, la fève.
- ✓ **Chapitre 2** : Stress salin

2. Deuxième Partie : Partie Expérimentale

- ✓ **Chapitre 3** : Description des matériels et des méthodes adoptées au cours de cette expérimentation.
- ✓ **Chapitre 4** : Analyse et discussion des résultats obtenus concernant l'impact du stress salin sur la fève.
- ✓ **Conclusion Générale** : Synthèse des résultats et perspectives futures.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the bottom, both ending in elegant curls.

Première Partie
Revue Bibliographique



Chapitre I

**Description détaillée du matériel
végétal utilisé, la fève.**

1- Présentation de la fève :

La fève (*Vicia faba* L., $2n = 2x = 12$) est un légume-grain de l'ancien monde de la famille des Légumineuses (Purseglove 1968) , La fève (*Vicia faba* L.) est largement cultivée dans de nombreux pays, principalement pour nourrir les animaux et les humains (Goyoaga et *al.*, 2008).

La fève est une herbe annuelle dressée, grossière et feuillue, dont les gousses peuvent présenter des couleurs noires, verdâtres, brunes ou noires. Les graines peuvent se présenter de différentes formes : oblongues, ovales, aplaties et arrondies, avec une couleur allant du blanc au brun rougeâtre, du brun verdâtre au violet noir. La taille des graines varie considérablement selon la variété. (Adsule et Akpapunam ,1996)

2- Historique de la fève :

Vicia faba n'était pas parmi les toutes premières cultures domestiquées. Il a probablement été introduit dans l'agriculture seulement à la fin du Néolithique (Korber-Grohne, 1987). (Cubero 1974) a conclu que le centre d'origine se trouvait au Proche-Orient, en Irak, et l'Iran, et les centres secondaires se sont développés plus tard en Afghanistan et en Éthiopie. Avant 1000 avant JC, la culture des féveroles était déjà très implantée en Europe, y compris en Grande-Bretagne. Types à grosses graines sont d'origine récente et ils ont probablement été développé il y a seulement 1 000 à 1 200 ans dans l'est de l'Irak, et de là, il s'est propagé en Asie, à travers l'Afrique du Nord en Europe, et finalement en Amérique.

En Chine, la récolte semble être arrivée seulement après 1200 après JC. La féverole a atteint le Mexique et l'Amérique du Sud par les Espagnols. Dès lors, il a connu il y a une évolution indépendante (Korber-Grohne,1987 ; Bond, 1995).

3- Caractéristique morphologique de la fève :

D'après Wang et al. (2012), la fève est une plante diploïde ($2n= 12$) et partiellement allogame, avec un appareil végétatif et un appareil reproducteur. L'appareil végétatif comprend : les racines, la tige et les feuille quant à son appareil reproducteur, il est formé par les fleurs qui sont à l'origine des fruits et des graines



Figure 01 : Les différentes parties de la fève (*Vicia faba*), planche botanique de 1885(wikipedia.org)

3-1-Racines :

Selon (Duc, 1997), le système racinaire de *V. faba* L. est formé par une racine principale pivotante et des racines secondaires portant des nodosités contenant des bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium leguminosarum* Racines :

Selon Chaux et Foury 1994, la fève peut se trouver à une profondeur allant de 80 cm à cause des nodosités présentes dans les 30 premiers centimètres.

3-2-Tige :

La tige est simple, dressée, creuse et de section quadrangulaire. En règle générale, elle atteint une hauteur de 0,80 à 1,20 m (Chaux et Founy, 1994). Il existe un ou plusieurs rameaux à la base de la tige qui présente une croissance indéterminée (Duc, 1997 ; Brink et Blay, 2006).

3-3- Feuilles :

Les feuilles sont alternes, composées-pennées, composées de deux (02) à quatre (04) paires de folioles ovales à pointe courte, sans vrilles, et sont de couleur blanc-vert à gris clair. Les stipules sont clairement visibles sous forme de dents (Chaux et Foury, 1994).

3-4- Fleurs:

Les fleurs sont en forme de papillon, longues de deux (02) à trois (03) cm, de couleur blanche, brune ou violette, avec des taches noires ou brunes sur chaque aile (Dac, 1997).

4- Variétés de la fève (Aoudjit , 2014) :

Il y a plusieurs sous-espèces et variétés de *Vicia faba*, généralement classées en trois groupes basés sur la taille des graines : petites (variété minor), moyennes (variété équina) et grandes (variété major). Le terme "major" désigne les graines couramment appelées « fève » dont la longueur dépasse 2 cm, tandis que "minor" correspond aux « féveroles », avec des graines mesurant entre 0,5 et 1,5 cm de long (Atik, 1999).

4-1- Principales variétés actuelles

D'après CHAUX et FOURY (1994), quatre catégories sont distinguées :

4-2- Variétés très précoces

Ce groupe comprend le type muchaniel, dont les gousses vert clair contiennent 5 à 6 grains blancs.

4-3- Variétés précoces

Ce groupe inclut la variété Séville, caractérisée par des gousses longues renfermant 5 à 6 grains, plus volumineux que ceux des types très précoces. La plante atteint une hauteur moyenne de 70 cm.

4-4- Variétés demi-précoces

Les variétés demi-précoces appartiennent au type fève d'Aguadulce, très répandu en culture. Ces plantes, à végétation haute 1,10 à 1,20 m, produisent des gousses vertes, volumineuses et très longues 20 à 25 cm contenant 7 à 9 grains. Cette variété est très productive.

4-5- Variétés tardives

Connues sous le nom de fève trois fois blanche (ITE BERYL), ces variétés ont une hauteur moyenne de 85 cm et produisent de nombreuses gousses contenant 4 graines assez fines.

5- Classification botanique :

Classification APG III (2009), la fève est classée comme suit :

Règne : Plantae
Clade : Angiospermes
Clade : Dicotylédones vraies
Clade : Noyau des Dicotylédones vraies
Clade : Rosidées
Clade : Fabidées
Ordre : Fabales
Famille : Fabaceae
Sous-famille : Faboideae
Genre : Vicia
Espèce : *Vicia faba* L.

6- Exigences pédoclimatiques :

L'espèce est peu exigeante sur le plan édaphique. Cependant, la préférence est donnée au sol sablo-argileux humifère apportant à la fois précocité et fraîcheur.

La température optimale de croissance se situe à 18-22 ° C. la fève qui possède un mauvais comportement sous forte chaleur, est considérée en culture comme une plante de saison froide en zone tempérée. Elle présente une assez bonne résistance au froid (jusqu'à -3 ° C) (jean-Yves ;2006)

7- Production de la fève :

La fève est produite au niveau international ainsi qu'au niveau national, et nous en discuterons ci-dessous :

7-1- Production mondiale :

La production mondiale de fèves en 2019 était de 5,43 millions de tonnes, soit une augmentation d'environ 25 % par rapport aux 4,35 millions de tonnes de 1990.

Au niveau régional, l'Asie représente 33,55 % de la production mondiale totale de féveroles, suivie par l'Europe (UE) et l'Afrique, qui représentent respectivement 29,36 % et 27,04 % (FAO, 2020), la Chine étant le principal producteur de féveroles. Viennent ensuite l'Éthiopie ; ces deux pays représentent environ 50 % de la production mondiale, tandis que l'UE, le Royaume-Uni et la France complètent les cinq premiers producteurs.

En outre, l'Australie était le principal exportateur de féveroles en 2019, avec 265 543 tonnes, soit près de 30 % des exportations totales, suivie par le Royaume-Uni, la Lituanie, l'Égypte et la Lettonie (FAO, 2020).

7-2- Production nationale :

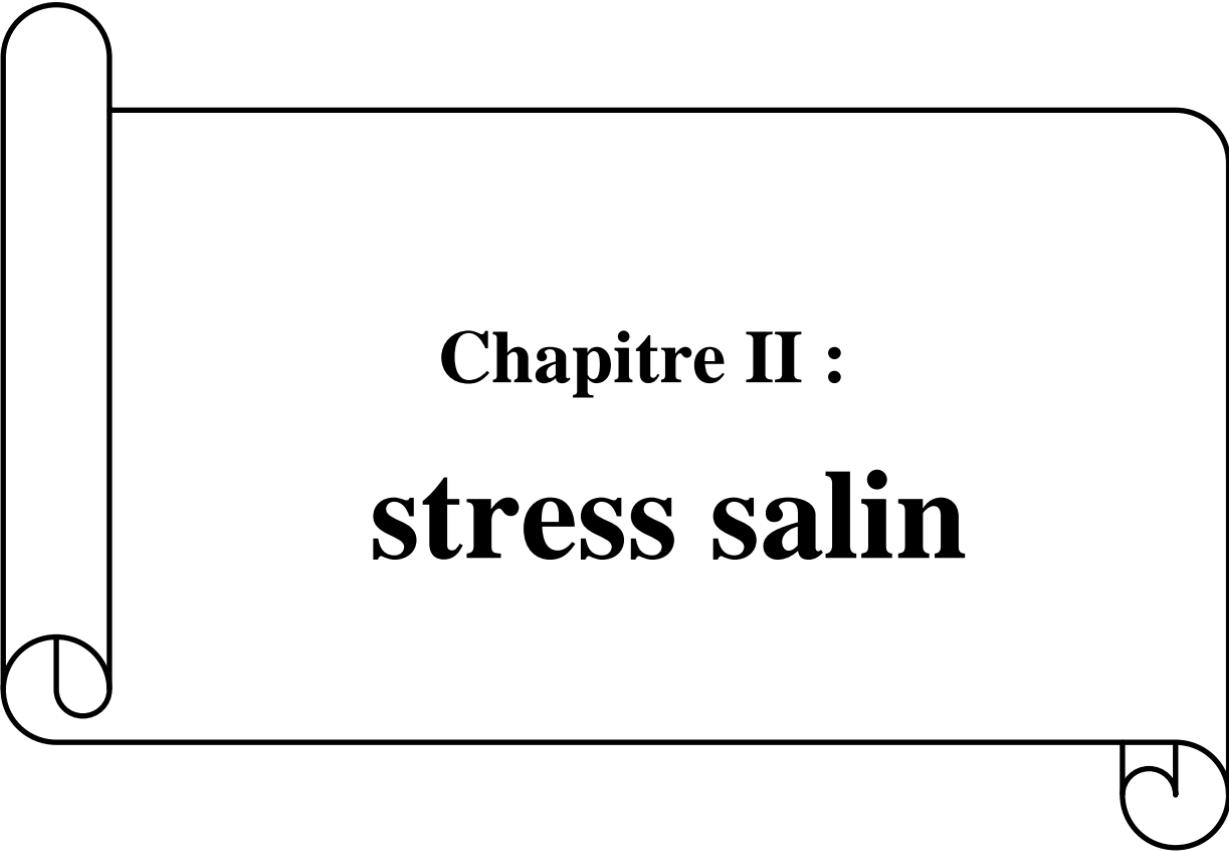
En Algérie, les légumineuses alimentaires occupent une place importante dans les systèmes de cultures et dans l'alimentation de la population.(Abdelguerfi-Laouar M et al , 2001)

Chapitre I : Description détaillée du matériel végétal utilisé, la fève

Les données statistiques sur la superficie et la production de la fève s-féveroles en Algérie pour la décennie 2010-2019 sont présentées dans le tableau 01

Tableau 1 : Evaluation de la superficie et production de la fève et féverole en Algérie
(ONS 2010-2019)

Compagne agricole	Superficie (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
2009/2010	34210	366252	10,7
2010/2011	37090	379818	10,2
2011/2012	36835	405070	11
2012/2013	37668	423862	11,3
2013/2014	37499	413886	11
2014/2015	39977	448074	11,2
2015/2016	35813	380485	10,6
2016/2017	40361	468553	11,6
2017/2018	40222	548780	13,6
2018/2019	41451	552729	13,3
Moyenne	38113	438751	11,5



Chapitre II :
stress salin

Chapitre II : Explication du stress salin, ses effets sur les plantes et les mécanismes d'adaptation des plantes face à ce stress.

1. Définition

Le stress salin est défini comme une concentration excessive en sel. Le terme stress salin s'applique surtout à un excès des ions, en particulier Na^+ et Cl^- (Hopkins, 2003)

On fait référence au stress salin comme étant la présence de concentrations excessives de sels solubles dans la solution du sol, ce qui entrave la croissance des plantes. . (Ayyash et Nassour 2012)

Le stress salin se manifeste par une augmentation de la concentration des sels solubles dans la zone de dispersion des racines, ce qui entraîne une diminution de la tension hydrique du sol. Cela réduit le gradient de tension hydrique entre les cellules du système racinaire et le sol environnant, entraînant une diminution de l'absorption de l'eau et des éléments minéraux nutritifs. (Maher Sulaf , 2023)

2. Effet du stress salin sur la plante

2.1. Effet osmotique :

Une forte concentration de sels solubles dans le sol crée une pression osmotique élevée dans l'environnement racinaire, ce qui réduit la disponibilité de l'eau du sol pour les plantes. Ce phénomène est connu sous le nom de sécheresse physiologique (Maricle et *al.*, 2007). La sécheresse physiologique n'affecte que les plantes qui ne parviennent pas à ajuster leurs concentrations de sels (Khoury, 1969) ou qui les ajustent de manière insuffisante (Bernstein et Hayward, 1958 ; Gale et *al.*, 1967).

Lorsque l'ajustement osmotique n'est pas adéquat, l'eau a tendance à sortir des cellules, ce qui entraîne une perte de turgescence (Redondo-Gomez et *al.*, 2006). Les sels compétitionnent avec les systèmes de transport des nutriments essentiels, créant un déséquilibre osmotique qui peut conduire à une déficience en eau (Niu et *al.*, 1995).

Selon Munns et Termaat (1986), l'effet osmotique impose aux plantes une dépense d'énergie accrue pour extraire l'eau du sol.

Levitt (1972) observe que les halophytes, grâce à la présence de solutés organiques dans leurs cellules, régulent leur pression osmotique intracellulaire en fonction de la pression osmotique du milieu. Il souligne également que l'effet osmotique des sels est le principal facteur limitant la croissance des glycophytes. Cependant, certains auteurs indiquent que les glycophytes sont également capables de maintenir, dans une certaine mesure, leur

Chapitre II : Explication du stress salin, ses effets sur les plantes et les mécanismes d'adaptation des plantes face à ce stress.

hypertonie et leur turgescence en milieu salin en accumulant des ions provenant du milieu et en modifiant la concentration interne de certaines substances organiques (Bernstein, 1963 ; Slatyer, 1961).

2.2. Effets physiologiques

La présence de chlorure de sodium dans le sol entraîne généralement une diminution de l'intensité de la transpiration des plantes (Gale, 1972). Le sel réduit la transpiration des glycophytes et de nombreux halophytes (Gale et *al.*, 1972), sans provoquer de diminution de leur turgescence.

Cependant, selon (Rains, 1972) et (Schwartz et Gale, 1981), les plantes augmentent leur respiration en conditions de stress salin. Cette augmentation est due à l'énergie nécessaire pour l'absorption ionique, ce qui a un impact négatif sur l'équilibre énergétique disponible pour la plante.

Les plantes qui ajustent leur concentration osmotique en présence de sel parviennent à extraire l'eau des milieux salés tout en réduisant leur transpiration, ce qui leur permet de maintenir leur turgescence. En revanche, les plantes incapables d'effectuer un ajustement osmotique complet, probablement en raison d'une absorption insuffisante de sel, voient leur turgescence s'effondrer malgré une diminution de la transpiration (Gale et *al.*, 1972).

La photosynthèse est réduite chez les plantes cultivées en milieu salin. En conditions de stress salin, (Terry et Waldrow, 1984) ont observé que l'ouverture des stomates ne devient complète qu'une demi-heure après l'exposition à la lumière (Dergaoui, 1999).

Le NaCl réduit la synthèse des protéines et augmente leur hydrolyse chez certaines plantes cultivées. Par exemple, cela se produit dans les racines des pois (Klyshev et Rakova, 1964), les feuilles de vignes (Saaky et Petrosya, 1964) et chez l'haricot (Nieman, 1965 ; Huber et *al.*, 1977).

Effet sur la germination :

La germination des graines est une étape cruciale pour le développement des plantes, mais elle peut être entravée par la salinité. Le stress salin a des effets négatifs sur l'imbibition des graines et la croissance racinaire. La diminution de la germination et la réduction de la croissance racinaire induites par la salinité sont liées à la toxicité ionique et au stress osmotique. Une diminution de la germination est observée chez les plantes cultivées en conditions salines. Le blé, en particulier parmi les cultures de plein champ, est fortement

Chapitre II : Explication du stress salin, ses effets sur les plantes et les mécanismes d'adaptation des plantes face à ce stress.

affecté par la salinité et une diminution de la germination est observée. La salinité retarde également le temps de germination. La salinité du sol réduit l'absorption d'eau par la graine, inhibant son développement. Cela est dû à une diminution de l'activité enzymatique, à une absorption excessive de sodium (Na^+) par rapport au potassium (K^+), et à une toxicité embryonnaire. (Ghamnia, 2014)

3. Stratégies d'adaptation des plantes au stress salin :

Selon (Singh et al, 2021 ; Shams et Khadivi, 2023) Les plantes mettent en œuvre différents mécanismes pour assurer leur tolérance à la salinité. La salinité provoque des déséquilibres osmotiques, hydriques et nutritifs, ainsi que des interférences cellulaires et morphologiques, ce qui finit par affecter les processus physicochimiques des plantes.

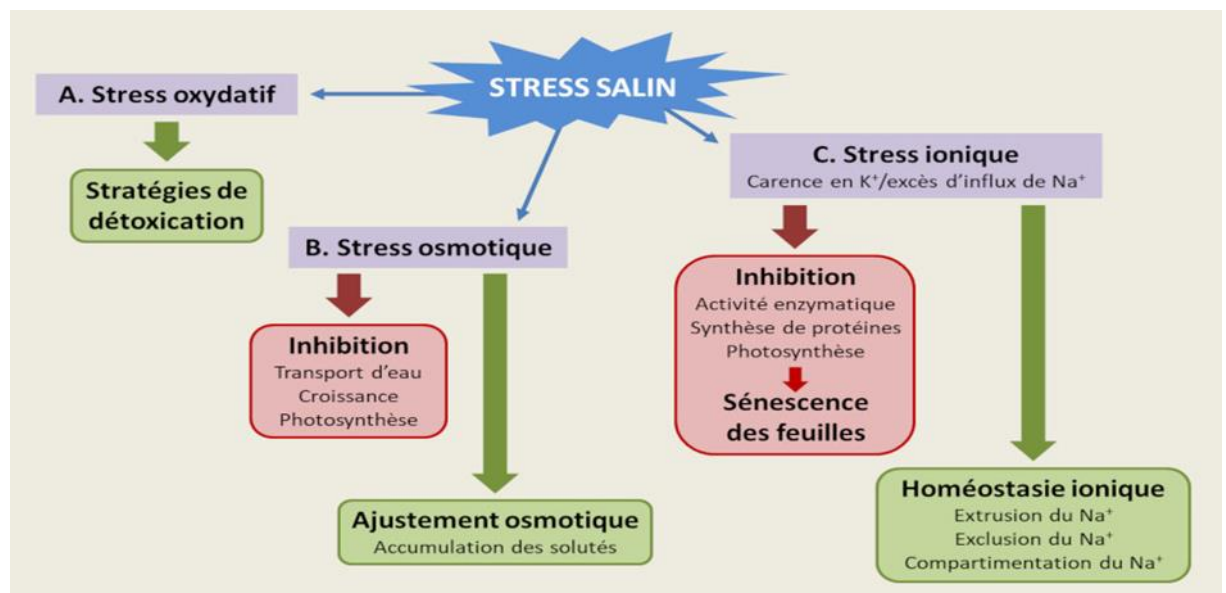


Figure 02 : Effets délétères liés à la toxicité du stress salin et réponse cellulaire mise en place pour assurer la tolérance. Chez les plantes halophiles, l'excès de sel dans le sol provoque un stress ionique, oxydatif et osmotique qu'elles doivent gérer en mettant en place des stratégies pour maintenir (A) les molécules du stress oxydant à un niveau acceptable, (B) l'équilibre osmotique, et (C) l'homéostasie ionique. (LUU, 2020)

3.1. Exclusion :

La plante possède un système de défense contre l'accumulation de sel dans ses feuilles. Une première ligne de défense se situe au niveau de l'endoderme, une couche de cellules protectrices à l'intérieur de la racine. Cependant, cette barrière peut être compromise,

Chapitre II : Explication du stress salin, ses effets sur les plantes et les mécanismes d'adaptation des plantes face à ce stress.

notamment au niveau des ramifications de la racine. D'autres mécanismes existent pour limiter le passage du sel des racines vers les feuilles, mais les gènes responsables de ces processus restent largement inconnus (Derakaoui et *al.*, 2018).

3.2. Inclusion (Compartmentation) :

Le sel, tout comme l'eau, est absorbé par la plante et transporté vers les feuilles via le flux ascendant de la sève dans les vaisseaux. Une fois à l'intérieur des cellules, le sel est stocké dans les vacuoles, des compartiments clos, grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires. Ce mécanisme d'isolement permet de séparer le sel des composants cellulaires essentiels, préservant ainsi le bon fonctionnement de la cellule (Derakaoui et *al.* 2018).

3.3. Accumulation de substances d'ajustement osmotique

L'accumulation de solutés organiques compatibles tels que la proline, les sucres solubles, la bétaine de glycine et les polyols est une réponse courante chez les plantes cultivées en conditions de stress salin. Ces composés solubles de faible poids moléculaire agissent en tant qu'osmoprotecteurs et contribuent à l'ajustement osmotique intracellulaire (Thuvaraki et *al.*, 2023). La proline, en particulier, est un osmolyte couramment accumulé dans le cytosol en réponse au stress salin chez les plantes. Elle aide à l'ajustement osmotique, stabilise les structures subcellulaires et neutralise les radicaux libres. La bétaine de glycine, quant à elle, est un osmolyte soluble dans l'eau et amphotère contenant de l'ammonium. Elle atténue le stress salin en contribuant à l'ajustement osmotique (Zeenat et *al.*, 2020).

L'ajustement osmotique est un processus par lequel les plantes maintiennent leur capacité à absorber l'eau en augmentant la concentration de solutés à l'intérieur de leurs cellules. Il existe deux mécanismes d'ajustement osmotique en réponse au stress osmotique. D'une part, les solutés eux-mêmes agissent en tant qu'osmolytes. D'autre part, les solutés jouent un rôle protecteur en stabilisant la structure des macromolécules biologiques. Une hypothèse suggère que les régions hydrophobes à la surface des protéines se lient faiblement aux molécules d'eau, en particulier dans des environnements hypertoniques. Les cellules perdent d'abord cette partie d'eau dans un environnement hypertonique. Les régulateurs osmotiques peuvent se dissoudre dans l'eau liée à la surface des protéines, renforçant ainsi la polarité de surface des protéines grâce à la formation de liaisons hydrogène, améliorant ainsi leur adhésion à l'eau (Hao et *al.*, 2021).

Chapitre II : Explication du stress salin, ses effets sur les plantes et les mécanismes d'adaptation des plantes face à ce stress.

Les plantes réalisent l'ajustement osmotique en absorbant des ions inorganiques et en synthétisant des solutés organiques compatibles (protéines, polyols, sucres, acides aminés, amines, bétaines) afin de prévenir la dénaturation des enzymes, stabiliser les membranes et activer des mécanismes de défense antioxydante. Les plantes tolérantes à la salinité, comme le pois chiche et le soja, présentent des concentrations plus élevées de ces solutés compatibles, et gèrent l'excès d'ions sodium et chlorure en les stockant dans la vacuole et le cytoplasme, stabilisant ainsi leur croissance et leurs processus métaboliques (Zeenat et *al.*, 2020).

Des composés tels que la proline, la bétaine de glycine et les glucides solubles ont démontré leur efficacité pour réguler la pression osmotique en réduisant le potentiel osmotique dans le cytosol. L'accumulation de solutés organiques compatibles, comme la proline, les sucres solubles, la bétaine de glycine et les polyols, est une réponse courante des plantes en conditions de stress salin. Ces composés solubles et de faible poids moléculaire agissent comme des osmoprotecteurs et contribuent à l'ajustement osmotique intracellulaire (Thuvaraki et *al.*, 2023).

Par exemple, la proline, un osmolyte couramment accumulé dans le cytosol en réponse au stress salin, favorise l'ajustement osmotique, stabilise les structures subcellulaires et élimine les radicaux libres. De même, la bétaine de glycine, un osmolyte soluble dans l'eau et amphotère contenant de l'ammonium, atténue le stress salin en contribuant à l'ajustement osmotique (Zeenat et *al.*, 2020).

L'ajustement osmotique se réfère au processus par lequel les plantes maintiennent leur capacité à absorber l'eau en augmentant la concentration de solutés à l'intérieur de leurs cellules. Il existe deux mécanismes d'ajustement osmotique en réponse au stress osmotique. Tout d'abord, les solutés eux-mêmes agissent comme des osmolytes. Deuxièmement, les solutés jouent un rôle protecteur en stabilisant la structure des macromolécules biologiques. Une hypothèse propose que les régions hydrophobes à la surface des protéines se lient faiblement aux molécules d'eau, en particulier dans des environnements hypertoniques. Ainsi, lorsque les cellules sont exposées à un environnement hypertonique, elles perdent d'abord cette partie d'eau. Les régulateurs osmotiques peuvent se dissoudre dans l'eau liée à la surface des protéines, renforçant ainsi la polarité de surface des protéines par la formation de liaisons hydrogène. Cela améliore leur adhésion à l'eau (Hao et *al.*, 2021).

Les plantes réalisent l'ajustement osmotique en absorbant des ions inorganiques et en synthétisant des solutés organiques compatibles, tels que les protéines et les polyols, qui

Chapitre II : Explication du stress salin, ses effets sur les plantes et les mécanismes d'adaptation des plantes face à ce stress.

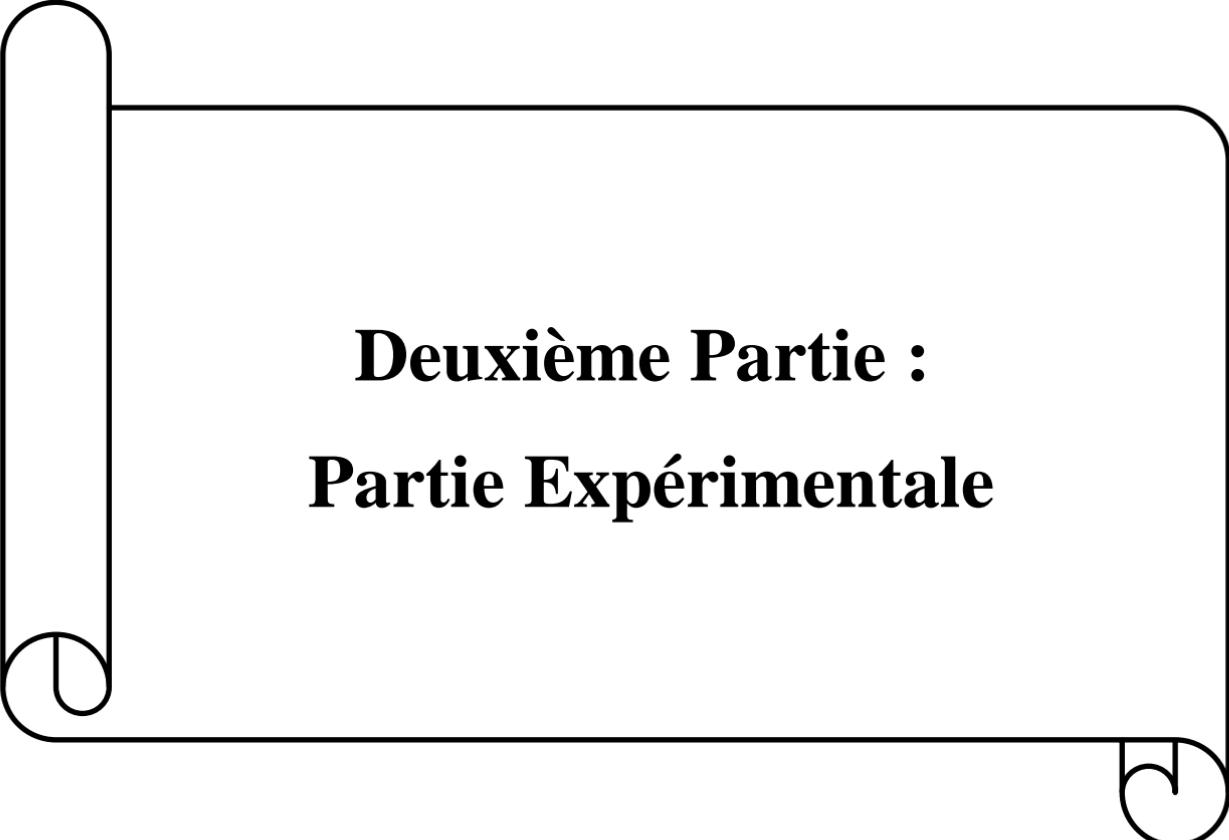
aident à activer les mécanismes de défense antioxydant, prévenir la dénaturation des enzymes et stabiliser les membranes; les plantes tolérantes à la salinité, comme le pois chiche et le soja, présentent des concentrations plus élevées de ces solutés et stockent l'excès d'ions sodium et chlorure dans la vacuole et le cytoplasme pour stabiliser leur croissance et leurs processus métaboliques (Zeenat et *al.*, 2020).

3.4. Synthèse d'antioxydants

En réponse à un stress salin, les plantes produisent des espèces d'oxygène actif nommés ROS (radicaux superoxide (O_2^-), peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), et radicaux hydroxyl (OH)). Ces dérivés sont à l'origine de dommages oxydatifs des lipides membranaires, des protéines et des acides nucléiques (Halliwell et Gutteridge, 1989). Pour y faire face, les plantes ont développé des mécanismes anti-oxydants enzymatiques et non-enzymatiques (la détoxification des ROS). Les enzymes responsables de cette détoxification nommées antioxydants incluent le superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT), et des enzymes du cycle ascorbate-glutathion (Hernandez et *al.*, 2001).

3.5. Régulation de croissance

Le maintien d'une croissance racinaire est un caractère adaptatif dans un environnement de faible disponibilité en eau tel que le milieu salin. L'augmentation d'activité des enzymes impliquées dans la construction du cytosquelette : par exemple la xyloglucan endotransglycosylase et l'accumulation de proline provoquent l'allongement racinaire. Ces deux actions sont régulées par l'acide abscissique (ABA), qui est induit par le stress salin.



Deuxième Partie :
Partie Expérimentale



Chapitre III

**Description des matériels et
des méthodes adoptées au
cours de cette**

1-Objectif de l'étude :

L'objectif de ce travail est d'évaluer la tolérance à un potentiel hydrique faible de la fève (*Vicia Faba L*) soumises à un stress salin à travers l'étude des différents paramètres de l'ajustement osmotique (paramètres biochimiques). afin de mieux comprendre les mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués dans la résistance de cette plante aux conditions salines.

Les paramètres de tolérance évalués dans cette étude comprenaient :

➤ **Paramètres physiologiques :**

Teneur relatives en eau des feuilles (RWC)

➤ **Paramètres biochimiques :**

Le dosage des sucres solubles.

Dosage des cations K⁺ et Na⁺.

Le dosage de la proline.

Le dosage des protéines.

2-Le matériel végétal utilisé :

Le matériel végétal utilisé est constitué de trois génotypes de fève (*Vicia faba L.*) d'origines géographiques distinctes et différentes par leur réponse au traitement salin. Ils comprennent deux génotypes issus de l'Espagne (Sofia et Ouiza otona) et le troisième génotype Carlodeluna issu de l'Italie.

Tableau 02 : les principales origines du matériel végétal utilisé

N°	Variété	Origine	Cycle végétatif
01	SOFIA	Espagne	Précoce
02	OIENZA OTONA	Espagne	Précoce
03	CARLO DE LUNA	Italie	Précoce

3-Conditions de l'expérimentation :

3-1- Localisation de l'essai :

L'expérimentation a été menée dans une serre semi-automatique au niveau de la Faculté des Sciences de la nature et de la vie de l'université de Tiaret. Les essais sont conduits à des températures nocturnes d'environ 15°C et diurne de 20°C et une humidité relative d'environ 70%.



Figure 03 : Site expérimental

3-2- Conditions et conduite de culture :

3-2-1 Germination des graines :

Les graines ont été préalablement désinfectées à l'eau de javel (5 %) puis rincées par deux lavages avec de l'eau distillée avant d'être semées dans des alvéoles contenant du terreau. Les graines ont été arrosées régulièrement à l'eau du robinet . La germination s'est effectuée à température ambiante.



Figure 04 : Germination graines

3-2-2- Empotage et repiquage des plantules :

Lorsque les plantules atteignent le stade de 5-6 feuilles, elles ont été retirées des alvéoles et transférées dans les pots préalablement préparés à raison d'un plant par pot. La culture a été réalisée dans des conditions semi-contrôlées.



Figure 05 : Plantule de variétés de fève (*Vicia Faba L.*), Et repiquage-le dans les pots

3-2-3- Préparation du substrat de culture :

Des pots en plastique de 5 L, 21 cm de long et 25 cm de diamètre ont été remplis d'une manière identique par le sable. Chaque pot a été tapissé d'une fine couche de gravier au fond, puis rempli d'environ 3 kg de sable.

3-2-4- Conduite de l'essai et Plan expérimental :

L'essai de la campagne a été initié le 18/03/2024 selon un plan factoriel complet à trois facteurs (variété, concentration de NaCl et répétition), avec un total de 48 pots utilisés. Les pots ont été disposés en quartes traitements, un traitement témoin (0meq/mol de NaCl) et de trois autres avec trois niveaux de salinité (50, 100 et 150meq/mol de NaCl). Au niveau de chaque traitement, chaque génotype est répété quartes fois.

Chapitre II : Description des matériels et des méthodes adoptées au cours de cette expérimentation.

Tableau 03 : Différentes concentration des solutions saline :

La concentration en (meq/mmol)	0	50	100	150
NaCl en (g /l)	0	2,925	5,84	8,77



Figure 06 : vue générale de l'essai 1

Chapitre II : Description des matériels et des méthodes adoptées au cours de cette expérimentation.

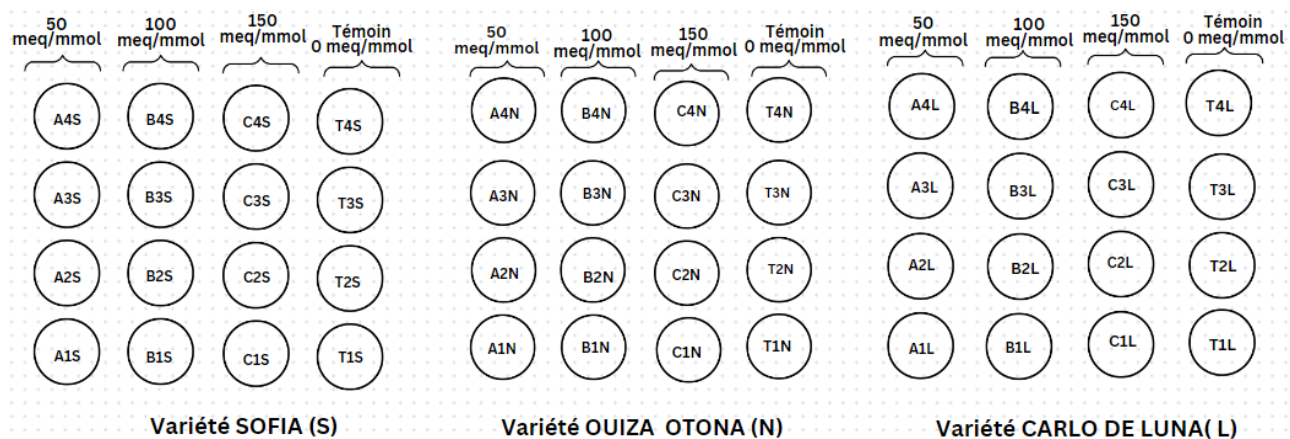


Figure 07 : Dispositif expérimental

3-2-5- Irrigation et application du stress :

Après le repiquage des plantules, les plantes de tous les traitements ont été irriguées à 100% à la capacité du champ, Les plantes ont été arrosées uniformément, recevant 3 à 4 arrosages par semaine avec de l'eau du robinet. jusqu'à la stade floraison un stress salin a été induit en ajoutant du chlorure de sodium (NaCl) à l'eau d'irrigation avec quartes doses différents. Le stress salin a été maintenu pendant trois semaines, avec une fréquence de deux fois par semaine. L'eau d'irrigation est remplacée chaque semaine par une solution nutritive commerciale (ACTIVEG).

Tableau 04 : 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 traitement phytosanitaire :

Au cours de l'expérimentation les plantes infectées par l' insecte de puceron (un insecte qui va dégrader les feuilles et sucer la sève), Nous avons procédé à un traitement avec un produit insecticide : le FAST Esfenvalérate 5% .

4- Paramètres de tolérance étudiés

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 :

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

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 soluble :

Les sucres sont dosés par la méthode de **Schiels et Burnett (1960)**, Ces sucres sont extraits après macération dans un solvant capable de les solubiliser et de bloquer l'activité enzymatique apte à la dégrader.

➤ Au niveau des feuilles

Le matériel végétal prélevé (57 mg) (tiers médian de la feuille), est laissé 24 h dans 3 ml d'éthanol à 80 %. L'extrait obtenu est dilué 10 fois avec l'éthanol à 80 %. De la solution obtenue, 2 ml sont prélevés, auxquels on ajoute 4 ml de réactif composé de 0.5g d'anthrone pure additionnée à 250ml d'acide sulfurique (H₂SO₄). Le réactif est préparé 4 heures à l'avance. Le mélange extrait-réactif doit être maintenu dans de la glace fondante. Après agitation, les tubes sont placés au bain-marie à 92°C pendant 8 mn, puis refroidis pendant 30 mn à l'obscurité. L'absorbance est lue au spectromètre à une longueur d'onde de 585 nm.



Figure 08 : Extraction des sucres par macération des feuilles des variétés de la fève (*Vicia faba* L.) dans l'éthanol



Figure 09 : Le mélange extrait-réactif après maintenu de la glace fondante



Figure 10 : spectrophotomètre

Enfin des résultats des densités optiques sont rapportés sur un courbe étalon des sucres solubles exprimés en glucose selon l'équation suivante $y = 0,008x + 0.013$. La concentration des sucres solubles est exprimée en mg/gMF.

4-2-2- Dosage des cations K^+ et Na^+ :

Le dosage des cations a été effectué selon la méthode de **Chapman et Pratt (1962)**. Cette méthode consiste à peser 0,5 à 1g de matière végétal, bien broyé dans un creuset en porcelaine (30-50 ml) ensuite mis dans un four à moufle et on augmente la température progressivement jusqu'à 550° pendant 5 heures (jusqu'à l'obtention de cendre blanche). Une fois la calcination

Terminée, on transfère entièrement les cendres dans un bêcher de 100ml et ensuite homogénéiser les cendres humides dans 5ml de l'acide chlorhydrique (HCL, 2N) et mélange avec une tube de verre, après 15-20 mn on complète le volume à 50 ml avec l'eau distillée et on laisse la solution de cendre à 30 mn. Ensuite on filtre la suspension dans une fiole de 50ml.

Le dosage se fait par l'absorption atomique.



Figure 11 : Le mélange fini après filtration

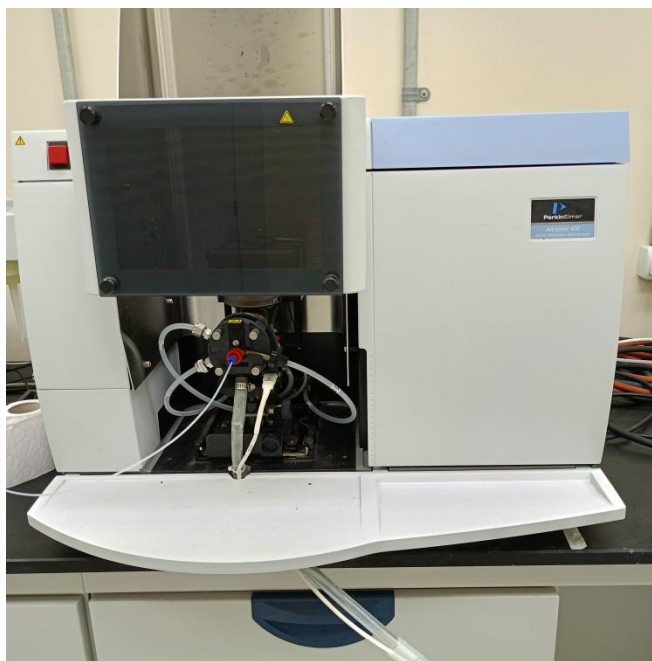


Figure 12 : spectrométrie d'absorption atomique

4-2-3- Dosage de proline :

La proline est dosée en utilisant la méthode de Troll et Lindesly (1955), modifiée par Monneveux et Nemmar (1986). La couleur rouge spécifique résultant de la réaction entre la proline et la ninhydrine dans un milieu acide est utilisée pour la quantification de cet acide aminé (la proline), l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline présente dans l'échantillon.

100 mg de matière végétale fraîche (feuilles et racines) est introduite dans des tubes à vis et est additionnée de 5 ml de méthanol à 40%, les tubes fermés pour éviter la volatilisation de l'alcool sont chauffés dans un bain marie à 85 °C pendant 60 min. Après refroidissement, 1ml de l'extrait est prélevé de chaque tube auquel est ajouté 1 ml d'acide acétique (CH_3COOH), 25 mg de ninhydrine et 1 ml d'un mélange contenant : 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide ortho-phosphorique (H_3PO_4 densité 1.7)

Les tubes sont portés à ébullition au bain marie pendant 30 min, pendant lesquelles la couleur de la solution vire progressivement au rouge. Après

Chapitre II : Description des matériels et des méthodes adoptées au cours de cette expérimentation.

refroidissement, 5 ml de toluène y est ajouté et les tubes agités au vortex, deux phases se forment. La phase supérieure qui contient la proline est prélevée et déshydratée par l'adjonction de 5 mg de sulfate de sodium (Na_2SO_4 anhydre).



Figure 13 : Tubes dans lesquels le mélange après ébullition d'un bain-marie pendant 30 minutes

Les tubes sont maintenus au repos pendant 48 h, la densité optique des échantillons est déterminée par un spectrophotomètre à la longueur d'onde 528 nm. Le blanc est un mélange (acide acétique, eau distillée, acide ortho-phosphorique et ninhydrine)

La teneur en proline (**mg/l**) est calculé selon l'équation : $y = 1.2607x + 0.0852$
(Benabderrahmane Safia, 2021).

4-2-4- Dosage des protéines :

Dosage des protéines (méthode de Bradford 1976) :

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 10 mg 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.

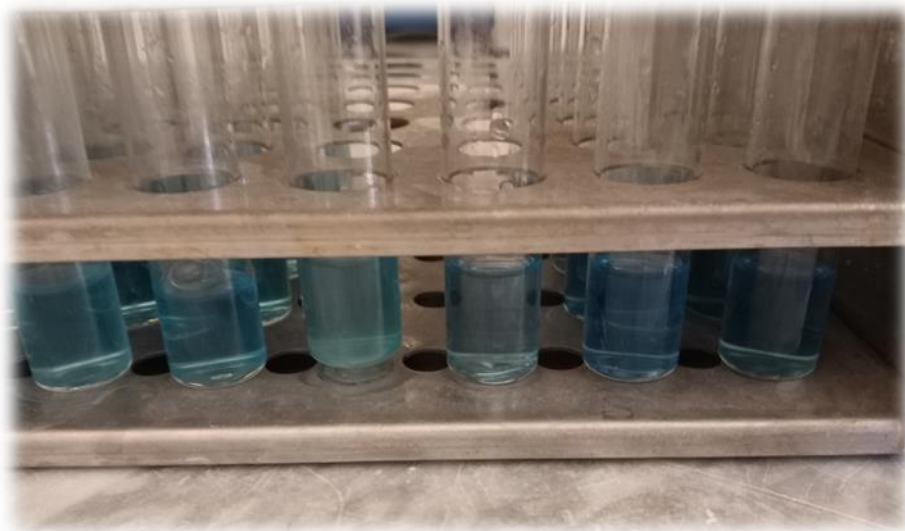


Figure 14 : Dosage des protéines totales

Enfin des résultats des densités optiques sont rapportés sur un courbe étalon selon l'équation suivante : $Y=0,0021x$. La concentration des protéines est exprimée en **mg/l**. (Marzouki Rania et al., 2020).

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the bottom, both ending in circular loops.

Chapitre V

**Analyse et discussion des résultats obtenus
concernant l'impact du stress salin sur la
fève expérimentation.**

1. paramètres physiologiques

1.1. Teneur relative en eau

Les résultats obtenus de la teneur relative en eau (Table05) varient significativement sous l'effet des variations de traitement salin et ainsi la nature des génotypes testés. En effet, l'application du traitement salin s'accompagne d'une importante diminution de la teneur relative en eau ($r = -0,44^{**}$) chez l'ensemble des génotypes testés.

Tableau 05 : 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	4,136*	3,992*	0,126 ^{ns}

Au niveau du lot témoin (0meq/mmol), les valeurs de la TRE (Table06) s'échelonnant entre 59.06%, valeur inscrite par Sofia et 69.80% observée chez Ouiza otona . L'application du traitement salin provoque une diminution, au niveau du lot 50meq/mmol, ces diminutions restes variables chez les génotypes testés, ou Ouiza otona enregistre un taux de diminution important estimé à 6%, à l'opposé le génotypes Sofia et Carlodeluna inscrivent une diminution moins importante avec un taux respectivement de 0.11% et 0.44%

Au niveau du lot (100meq/mmol) les diminutions de la TRE la plus importantes est inscrits par le génotype Carlodeluna à une valeur de 11%, à l'opposé le génotype Sofia marque la faible diminution de 4%.

Au niveau du lot (150meq/mmol) les diminutions de la TRE s'avèrent la plus marquantes où le taux de diminution a été estimé à 18%. Ainsi, on note que le génotype Sofia se distingue parmi la collection en inscrivant la plus faible de diminution (15%) et à l'opposé, le génotype Ouiza otona s'avère-le plus affecté à ce niveau traitement en inscrivant la plus haute valeur avec 21%.

Tableau06: Résultats moyenne de la teneur relative en eau chez les géotypes testés et sous les quarte traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150meq/mmol).

Géotype	Traitement salin	RWC(%)	RWC Std. Errs
Sofia	0meq/mmol	59,09	1,42
	50meq/mmol	59,02	2,15
	100meq/mmol	57,05	2,22
	150meq/mmol	51,23	0,91
Ouiza otona	0meq/mmol	69,80	8,74
	50meq/mmol	65,87	1,34
	100meq/mmol	63,76	7,72
	150meq/mmol	57,53	2,37
Carlodeluna	0meq/mmol	62,80	3,07
	50meq/mmol	62,52	2,22
	100meq/mmol	56,59	2,28
	150meq/mmol	52,63	2,51

2. paramètres biochimiques :

2.1. Taux des sucres :

Le tableau(07) démontre que le taux des sucres est fortement influencées par la nature des géotypes et le traitement appliqué. Cependant, l'interaction entre le géotype et le traitement n'exerce aucune influence sur l'expression de ce paramètre. L'application du traitement salin entraîne une augmentation significative de la teneur des sucres ($r = 0,63^{**}$) chez l'ensemble des géotypes testés.

Tableau 07 : effet du génotype, de traitement stress salin et de leurs interactions sur les paramètres biochimiques mesurés chez les 3 géotypes.

Paramètre	Effet du génotype	Effet traitement	Génotype*traitement
	Test F	Test F	Test F
Taux des sucres	4,0109*	10,1387***	0,2785 ^{ns}
Teneur en protéine	10,3451***	1,1901 ^{ns}	3,5190**
Teneur en proline	5,9788**	29,0928***	1,9913 ^{ns}
Taux de sodium	4,0461*	18,8145***	1,9410 ^{ns}
Taux de potassium	1,8168 ^{ns}	1,8876 ^{ns}	2,7284*

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 (0meq/mmol), les résultats moyenne de la teneur en sucres (Table08) s'échelonnant entre 4,11 ±0,63 mg/gMF valeur inscrite par Carlodeluna et 5,79 ±1,27mg/g MF observée chez Sofia. Au niveau du lot 50meq/mmol, , l'augmentation des taux d'accumulation des sucres simples s'avèrent plus élevées chez les géotypes Ouiza otona et sofia avec des valeurs de 25,78%,19,13% . Sous le même traitement salin , le génotype Carlodeluna inscrit la plus faible augmentation des sucres avec de progression de 12,93%

Pour le lot (100 meq/mmol), les augmentations les plus marquées du taux de sucres sont observées chez le génotype Carlodeluna, avec une évolution de 41,45%.

Chapitre V : Analyse et discussion des résultats obtenus concernant l'impact du stress salin sur la fève expérimentation.

En revanche, les géotypes Sofia et Ouiza otona montrent des évolutions de 26,24 % et 28,54 % respectivement par rapport aux témoins .

Pour le lot (150 meq/mmol), les augmentations les plus significatives du taux de sucres ont été observées chez les trois géotypes Sofia, Ouiza otona et Carlodeluna, avec des évolutions respectives de 38,98%, 42,59% et 47,30% par rapport aux témoins.

Tableau08: Résultats moyenne du taux des sucres chez les géotypes testés et sous les quarte traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150meq/mmol).

Géotype	Traitement salin	Teneur moyenne du taux des sucres (mg/gMF)	taux des sucres Std.Err.
Sofia	0meq/mmol	5,79	1,27
	50meq/mmol	7,16	1,05
	100meq/mmol	7,85	0,65
	150meq/mmol	9,49	0,24
Ouiza otona	0meq/mmol	4,73	1,01
	50meq/mmol	6,37	0,82
	100meq/mmol	6,62	0,99
	150meq/mmol	8,24	0,70
Carlodeluna	0meq/mmol	4,11	0,63
	50meq/mmol	4,72	0,68
	100meq/mmol	7,02	0,81
	150meq/mmol	7,80	0,80

2-2- Teneur en proline

Les données obtenues de l'estimation de la teneur en proline (Table 07), indiquent que son élaboration est conditionnée par les traitements adoptés d'une part et des natures génotypiques d'autre part ($p < 0.001$). L'accroissement de l'intensité du traitement salin s'accompagne d'une augmentation de la teneur en proline ($r = 0,74$) chez l'ensemble des géotypes testés. L'interaction des deux facteurs exerce une faible action non significative sur cette caractéristique ($p > 0,05$).

Les résultats moyens déterminés (Table 09), montrent qu'au niveau du traitement témoin la teneur en proline est comprise entre $5,99 \pm 3,03$ mg/l, valeur inscrite par Ouiza otona, $15,31 \pm 3,73$ mg/l enregistrées à Carlodeluna et $6,39 \pm 3,96$ mg/l observée chez Sofia. L'application du traitement salin provoque une augmentation, au niveau du lot 50meq/mmol, ces augmentations restent variables chez les géotypes testés, ou Sofia enregistre un taux d'augmentation important estimé à 85%, à l'opposé les géotypes Otona et Carlodeluna inscrivent une augmentation moins importante avec un taux respectivement de 36% et 31%.

Au niveau des lots (100meq/mmol) les augmentations de la teneur en proline la plus importantes sont inscrites par le géotype Otona à une valeur de 82%, à l'opposé le géotype Carlodeluna marque une augmentation de 73%. Alors l'augmentation chez le géotype Sofia a été enregistrée jusqu'à 80%.

Au niveau des lots (150meq/mmol) les augmentations de la Teneur en proline s'avèrent la plus marquantes ou la plus forte augmentation enregistrée par le géotype Sofia avec 93 %, on note que le géotype Carlodeluna se distingue parmi la collection qui inscrit la plus faible d'augmentation (85%) et à l'opposé, le géotype Ouiza otona il enregistre une valeur de 89%.

Tableau09: Résultats moyenne de la teneur en proline chez les géotypes testés et sous les quatre traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150meq/mmol).

Géotype	Traitement salin	Teneur moyenne en proline (mg/l)	Teneur en proline Std.Err.
Sofia	0meq/mmol	6,39	3,96
	50meq/mmol	43,27	12,66
	100meq/mmol	31,77	5,40
	150meq/mmol	95,42	15,71
Ouiza otona	0meq/mmol	5,99	3,03
	50meq/mmol	9,36	3,27
	100meq/mmol	34,15	14,00
	150meq/mmol	52,19	14,08
Carlodeluna	0meq/mmol	15,31	3,73
	50meq/mmol	22,25	5,61
	100meq/mmol	55,76	10,79
	150meq/mmol	104,74	16,09

2-3- Teneur en protéine :

L'analyse des résultats dégagés (Table 07), démontre que l'expression teneur en protéine est sous une influence hautement significative de la nature des géotypes testés et ainsi leur interaction. Les traitements salin adoptés n'exerce aucune variations sur l'élaboration de cette variable.

Au niveau du lot témoin (Table10), le géotype Sofia présente une teneur en protéines de $150,18 \pm 24,07$ mg/l. Ouiza otona affiche une teneur légèrement supérieure à $169,88 \pm 10,17$ mg/l, tandis que Carlodeluna présente la teneur la plus élevée à $193,10 \pm 13,09$ mg/l. Ces valeurs de référence permettent d'évaluer l'impact des traitements salins sur chaque géotype.

Au niveau des lots (50meq/mmol) et suit à l'application du stress salin, les génotypes regroupées en deux groupes, seul qui marque une progression de 1% et 3% respectivement chez Sofia et Carlodeluna. et le deuxième groupe qui subit une régression significative de 33% enregistré par Ouiza otona , Ces résultats suggèrent une sensibilité variable au stress salin à ce niveau de concentration en NACL.

Au niveau des lots (100 meq/mmol), les résultats moyenne montre des différences marquées entre les génotypes. Sofia marque une diminution de la teneur en protéines de 13%, tandis que Ouiza otona subit une forte baisse estimée à 102%, en revanche, Carlodlodon continue d'afficher une augmentation de la teneur en protéines (12%).

Au niveau des lots (150 meq/mmol), le génotype Sofia a connu une augmentation significative de 13 % de la teneur en protéines par rapport au contrôle. Cela met en évidence sa capacité à répondre positivement à ce niveau élevé de stress salin en augmentant sa teneur en protéines. Pour le génotype Ouiza otona , une diminution de la teneur en protéines est marqué de 2% à ce niveau de traitement. Pour le génotype Carlodeluna, nous constatons une réduction de 23% de sa teneur en protéines

Tableau10: Résultats moyenne de la teneur en protéine chez les géotypes testés et sous les quatre traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150meq/mmol).

Géotype	Traitement salin	Teneur moyenne en protéines (mg/l)	Teneur en protéine Std.Err.
Sofia	0meq/mmol	150,18	24,07
	50meq/mmol	151,67	19,16
	100meq/mmol	132,86	10,28
	150meq/mmol	172,26	12,38
Ouiza otona	0meq/mmol	169,88	10,17
	50meq/mmol	127,62	21,52
	100meq/mmol	84,17	17,29
	150meq/mmol	166,90	17,53
Carlodeluna	0meq/mmol	193,10	13,09
	50meq/mmol	199,05	27,23
	100meq/mmol	218,57	13,64
	150meq/mmol	156,55	15,52

2-4- Taux de sodium :

L'expression du taux de sodium (Tableau07), est significativement influencé par la nature des géotypes et de manière encore plus marquée par le traitement appliqué et indépendante de leur interaction, l'application du traitement salin augmente le Taux de sodium ($r=0,70$) chez l'ensemble des géotypes testés.

Au niveau des lots témoin (Tableau 11), les géotypes présentent des niveaux de sodium initiaux différents, Sofia affiche une teneur en sodium de $13,19 \pm 2,37$ ppm, Ouiza otona de $16,76 \pm 1,70$ ppm, et Carlodeluna la plus basse à $6,73 \pm 1,89$ ppm. Cela suggère que Carlodeluna présente la plus faible teneur en sodium en l'absence de traitement salin, tandis que Ouiza otona a la teneur en sodium la plus élevée parmi les

trois génotypes. Lorsqu'une concentration saline de (50 meq/mmol) est appliquée, la teneur en sodium augmente pour tous les génotypes. Sofia atteint $20,26 \pm 4,97$ ppm, Ouiza otona $19,34 \pm 3,46$ ppm, et Carlodeluna $18,35 \pm 2,95$ ppm. À ce niveau de traitement, les différences entre les génotypes se réduisent, Luz de Otono et Carlodeluna ayant des teneurs en sodium assez similaires, tandis que Sofia montre une augmentation notable mais modérée.

Au niveau des lots (100 meq/mmol), les différences deviennent plus prononcées. Sofia atteint $22,00 \pm 3,22$ ppm, Ouiza otona $31,24 \pm 2,65$ ppm, et Carlodeluna $24,37 \pm 4,64$ ppm. Les génotypes Ouiza otona et Carlodeluna montrent une augmentation beaucoup plus significative comparativement avec Sofia, ce qui suggère une sensibilité à la traitement salin à ce niveau.

Au niveau des lots (150 meq/mmol), les teneurs en sodium continuent d'augmenter pour tous les génotypes. Sofia atteint $23,24 \pm 3,52$ ppm, Ouiza otona $39,72 \pm 5,87$ ppm, et Carlodeluna $37,52 \pm 3,83$ ppm. À ce niveau de traitement, Ouiza otona montre la teneur en sodium la plus élevée, suivi de près par Carlodeluna, tandis que Sofia reste la moins affectée par les concentrations salines élevées.

Tableau 11: Résultats moyenne du taux de sodium chez les génotypes testés et sous les quatre traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150meq/mmol).

Génotype	Traitement salin	Teneur moyenne du taux de sodium (ppm)	Taux de sodium Std.Err.
Sofia	0meq/mmol	13,19	2,37
	50meq/mmol	20,26	4,97
	100meq/mmol	22,00	3,22
	150meq/mmol	23,24	3,52
Ouiza otona	0meq/mmol	16,76	1,70
	50meq/mmol	19,34	3,46
	100meq/mmol	31,24	2,65
	150meq/mmol	39,72	5,87
Carlodeluna	0meq/mmol	6,73	1,89
	50meq/mmol	18,35	2,95
	100meq/mmol	24,37	4,64
	150meq/mmol	37,52	3,83

2-5- Taux de potassium :

L'étude des résultats dégagés de la mesure de cette caractéristique (Table 07) montre que leur élaboration est indépendante à la fois du traitement salin et la nature des génotypes , par contre l'interaction entre les deux facteurs influe significativement l'expression de ce paramètre. le stress provoque une nette diminution de la teneur en potassium($r = -0,26$)

Au niveau du lot témoin, les résultats moyenne obtenus (Tableau 12) indiquent une variation notable du taux de potassium avec $4,65 \pm 0,65$ ppm a été observée chez Sofia, tandis que $6,62 \pm 0,91$ ppm a été observée chez Ouiza otona et $7,64 \pm 1,48$ ppm a été observée chez Carlodeluna

Chapitre V : Analyse et discussion des résultats obtenus concernant l'impact du stress salin sur la fève expérimentation.

Au niveau du lot 50 meq/mmol, les variations du taux de potassium diffèrent entre les génotypes testés. Ou les génotypes Sofia et Carlodeluna montres une diminution de $3,04 \pm 0,60$ ppm et $4,23 \pm 1$ ppm respectivement par rapport au témoin , à l'opposé le génotype Ouiza otona affiche une augmentation de $8,46 \pm 2,09$ ppm.

Au niveau de lot (100meq/mmol), l'ensemble des génotypes marques des diminutions marquées du taux de potassium. Sofia a enregistré une régression de $4,49 \pm 0,70$ ppm, Ouiza otona enregistré une régression de $4,19 \pm 0,90$ ppm . De même, Carlo del Luna a montré une régression de $4,44 \pm 0,84$ ppm par rapport aux témoins.

Au niveau de lot (150meq/mmol), les réductions les plus marquées des niveaux de potassium ont été observées chez deux génotypes. Carlodeluna a enregistré une baisse de $4,00 \pm 0,44$ ppm par rapport aux témoins. De même, Ouiza otona a montré une diminution de $4,37 \pm 0,27$ ppm. En revanche, le génotype Sofia a présenté une augmentation de $5,75 \pm 1,46$ ppm par rapport aux témoins qui étaient.

Tableau12: Résultats moyenne du taux de potassium chez les génotypes testés et sous les quarte traitements salin appliqués (0, 50, 100, 150meq/mmol).

Génotype	Traitement salin	Teneur moyenne du taux de potassium (ppm)	Taux de potassium Std.Err.
Sofia	0meq/mmol	4,65	0,65
	50meq/mmol	3,04	0,60
	100meq/mmol	4,49	0,70
	150meq/mmol	5,75	1,46
Ouiza otona	0meq/mmol	6,62	0,91
	50meq/mmol	8,46	2,09
	100meq/mmol	4,19	0,90
	150meq/mmol	4,37	0,27
Carlodeluna	0meq/mmol	7,64	1,48
	50meq/mmol	4,23	1,00
	100meq/mmol	4,44	0,84
	150meq/mmol	4,00	0,44

3-Discussion

La teneur relative en eau est un indicateur important de l'état hydrique des plantes et de leur capacité à maintenir des fonctions physiologiques optimales. Cela est cohérent avec ce que (Schonfeld et *al.*, 1988) a dit que Le contenu relatif en eau des feuilles est considéré comme un critère fiable pour mesurer l'eau dans les tissus végétaux, car il permet de mieux évaluer l'équilibre entre la quantité d'eau dans la plante et le taux de transpiration grâce à sa relation directe avec le volume cellulaire. L'analyse de différents niveaux de salinité sur le contenu relatif en eau des feuilles a montré qu'une augmentation de la concentration de sel entraînait une réduction significative du TRE, comme le confirme nos résultats ($r=-0.44$). Les résultats obtenus ont montré que la teneur en eau relative des feuilles est le meilleur paramètre indiquant l'état hydrique de la plante. Légèrement réduit chez les plantes stressées par le sel. Ceci est particulièrement observé lorsque la matière végétale est exposée à des concentrations de chlorure de sodium (100 meq/mmol) et (150 meq/mmol), Ce qui semble être un comportement de « résistance » au stress salin.

Sous contrainte saline, cela peut être le résultat d'un déséquilibre nutritionnel dû à une interférence des ions de sel en excès avec les nutriments essentiels impliqués à la fois dans l'absorption et la translocation (Patade et *al.*, 2008).

La diminution de la teneur en eau de la cellule sous contrainte saline était corrélée à une augmentation de la perméabilité de la membrane cellulaire des plantes cultivées sous contrainte saline (Tabaei-Aghdaei et *al.*, 2000 ; Farooq et Azam, 2006). Selon les études de (Munns ,2002), la salinité réduit la capacité des plantes à absorber l'eau,

De nombreux processus physiologiques et morphologiques importants, tels que l'agrandissement des feuilles, l'ouverture des stomates et la photosynthèse des feuilles associées, sont directement affectés par la réduction du potentiel de turgescence des feuilles qui accompagne la perte d'eau des tissus foliaires (Jones et Turner, 1978). Le stress salin provoque une carence en eau chez les plantes, ce qui se manifeste notamment par la fermeture des stomates au niveau des feuilles. Une diminution du RWC est un indicateur d'une faible turgescence(Alotaibi et *al* 2019).

La corrélation négative entre RWC et sucre ($r=-0,29$), ce résultat est similaire à celle de (Taha et *al.*, 2020), qui ont prouvé que l'ajustement osmotique est un mécanisme important inclus dans l'adaptation des plantes à divers stress, et que l'accumulation des sucres et de proline ont amélioré l'ajustement osmotique cellulaire et ont contribué à maintenir une RWC plus élevée. La même corrélation significative entre la RWC et l'accumulation des sucres solubles trouvés par Mohsenzadeh et *al.* (2006).

Le stress dû à la salinité provoque une augmentation des niveaux de glucides dans de nombreuses espèces végétales (Minorsky, 2003). Dans notre recherche, l'irrigation avec de l'eau salée, comportant des concentrations plus élevées de NaCl (50, 100 et 150 meq/mmol), a considérablement augmenté le contenu en sucres solubles ($r=0.63$). Les trois génotypes ont montré une augmentation significative de cette teneur en sucre.

Ces observations suggèrent que tous les génotypes réagissent à une augmentation de la salinité en augmentant leur teneur en sucre, ce qui implique une adaptation au stress osmotique. Parmi eux, Cardodeluna se distingue par une réactivité particulièrement marquée aux conditions salines, surtout le traitement intense de salinité avec un maximum d'accumulation de 47.30%. Cette accumulation de sucres pourrait servir de mécanisme de protection contre le stress induit par la salinité. L'accumulation de sucres est ainsi considérée comme un indicateur de la résistance au stress salin (Muuns et *al.*, 2006).

Les sucres solubles jouent un rôle dual chez les plantes soumises à un stress, participant à la fois aux processus métaboliques et à la régulation de la déshydratation (Lepengue et *al.*, 2012). Ils mettent en évidence des différences significatives entre les plantes soumises au stress et confirment la relation étroite entre la tolérance à la salinité et l'accumulation de sucres solubles, ce qui en fait des indicateurs fiables du degré de résistance de l'espèce à la salinité (Rathert, *Acta Botanica Gallica: Botany Letters* 133, 1984). L'accumulation de ces sucres semble provoquer la gélification du contenu cellulaire en saturant l'environnement intracellulaire. Ce processus empêche la cristallisation des molécules présentes dans la cellule, réduisant ainsi les dommages

aux structures cellulaires. Cette accumulation de sucres est proposée comme un indicateur de résistance au stress salin (Bouassaba et chougui, 2018)

Nos résultats ont révélé une corrélation significative entre le taux de proline et le stress croissant appliqué ($r=0.74$). Les données du tableau 07 montrent que l'ajout de NaCl à trois concentrations différentes a entraîné une augmentation significative de la concentration de proline. Ces observations sont en accord avec les conclusions de (Turan et *al*, 2009), selon lesquelles l'accumulation de proline est l'un des mécanismes les plus importants chez les plantes supérieures confrontées au stress salin.

Elle s'agit d'une réponse de défense essentielle visant à maintenir la pression osmotique à l'intérieur des cellules. La proline joue un rôle significatif dans l'ajustement osmotique, la préservation de la structure et de la fonction cellulaires, tant dans les cultivars tolérants au sel que dans ceux sensibles au sel, comme le démontrent plusieurs études.

La raison de son augmentation avec l'augmentation de la concentration en sel peut être due à un déséquilibre dans l'équilibre osmotique au sein de la cellule, car la production d'acides aminés augmente par la cellule exposée au stress. Le cytoplasme pour créer un état d'équilibre osmotique entre la vacuole et le cytoplasme ou pour agir comme facteur de protection pour les enzymes et les organites cellulaires du cytoplasme (Lamyaa, 2010).

La proline joue un rôle dans l'ajustement osmotique des plantes, mais elle protège également les membranes et les enzymes contre le stress oxydatif. (Agrawal et Panday, 2004)

La proline est l'un des antioxydants les plus importants car elle aide à éliminer les radicaux libres nocifs des tissus végétaux. Elle régule également l'équilibre osmotique à l'intérieur des cellules végétales et élimine les effets toxiques de l'accumulation d'ammoniac dans les cellules. Cela permet de maintenir la stabilité et la vitalité des protéines, des membranes cytoplasmiques, ainsi que de préserver leur fonctionnalité face à des conditions de stress délétères (Meloni et *al.*, 2001). Comme mentionné dans

l'étude de (Ashraf et Foolad , 2007), la proline joue également un rôle dans la protection, l'activation et la stabilité des enzymes mitochondriales en période de stress.

Le proline agit comme un facteur protecteur pour les enzymes, inhibant leur activité à des concentrations élevées de Na⁺. De plus, la faible entrée de sodium et la faible inhibition des enzymes peuvent également être une autre raison de la diminution de la proline dans les feuilles des plantes traitées avec de l'eau à faible teneur en sel (Zeina ,2016).

Nos résultats ont démontré que la teneur en protéines permet de regrouper les génotypes en deux groupes distincts : un groupe montrant une augmentation de ce paramètre et un autre montrant une diminution. Ces résultats suggèrent une sensibilité variable qui dépend essentiellement des effets des génotypes, indépendamment des effets des traitements salins qui n'exerce pas un impact significatif ce qui manifeste clairement dans la corrélation ($r=-0,08$).

Nous avons observé une diminution de la teneur en protéines chez la variété Ouiza otona. (Doganlar et *al.*,2010) ont également rapporté une diminution significative de la teneur en protéines solubles totales avec l'augmentation de la concentration de chlorure de sodium dans deux cultivars de tomates différents, pour des durées d'exposition variées.

(Abeer et *al.* , 2013) ont rapporté que les protéines produites en réponse au stress salin ne sont pas toujours liées à la tolérance au sel. Cela signifie que l'utilisation des protéines comme indicateurs de la tolérance au sel dépend de la nature de l'espèce végétale ou de la variété cultivée. La dégradation des protéines dans un environnement salin a été attribuée à plusieurs facteurs, notamment la réduction de la synthèse des protéines, l'accélération de la protéolyse, la diminution de la disponibilité des acides aminés et la dénaturation des enzymes impliquées dans la synthèse des protéines.

Pour les variétés Sofia et Carlo de Luna, nous avons observé une augmentation de leur teneur en protéines. Selon (Ouis et Belkhodja,2012), les stress hydriques et salins entraînent une augmentation des niveaux de protéines dans les feuilles, généralement attribuée à une surexpression des enzymes impliquées dans la réparation

des protéines pendant ces types de stress. Une approche pour faire face au stress salin pourrait être l'accumulation de protéines. Lorsqu'une plante est soumise à un stress salin, une resynthèse des protéines ou l'induction du métabolisme lié à une augmentation de la concentration de protéines spécifiques dans la plante peut se produire. Les plantes peuvent réagir au stress salin en activant des messagers contenant l'enzyme protéine kinase (Sayedhroghayeh et *al*, 2020).

Nos résultats montrent que le génotype affecte significativement le taux de sodium. De plus, le traitement a un effet très significatif sur ce taux. En effet, l'application du traitement salin augmente le taux de sodium chez l'ensemble des génotypes testés, Ce qui est clairement démontré par une corrélation significative ($r=0,71$)

L'effet du sel sur l'accumulation de sodium est très prononcé. Selon les expériences menées par (Tremblin et Ferard, 1994) ainsi que par (Ouerghi et *al*. 2000), les concentrations de sodium (Na^+) sont plus élevées dans les parties aériennes des plantes, ce cation se déplaçant vers les feuilles où il s'accumule. Ce transfert de Na^+ des organes souterrains vers les parties aériennes est amplifié par l'augmentation de l'intensité et de la durée du stress salin (Ouerghi et *al.*, 2000).

L'augmentation de la concentration de Na^+ dans les parties aériennes et les racines sous l'effet de la salinité peut être attribuée à la capacité des graminées à utiliser le Na^+ pour maintenir un gradient de potentiel osmotique adéquat entre les tissus de la plante et la solution externe (Glenn, 1987). La présence de Na^+ peut ainsi contribuer à une meilleure tolérance au sel chez les plantes (Masoud et *al*, 2015).

Le potassium (K^+) revêt une importance capitale dans la physiologie cellulaire des plantes. Le K^+ est un macronutriment essentiel qui remplit des fonctions essentielles liées à l'activation des enzymes, à l'ajustement osmotique, à la génération de turgescence, à l'expansion cellulaire, à la régulation du potentiel électrique membranaire et à l'homéostasie du pH (Hawkesford et *al.*, 2012).

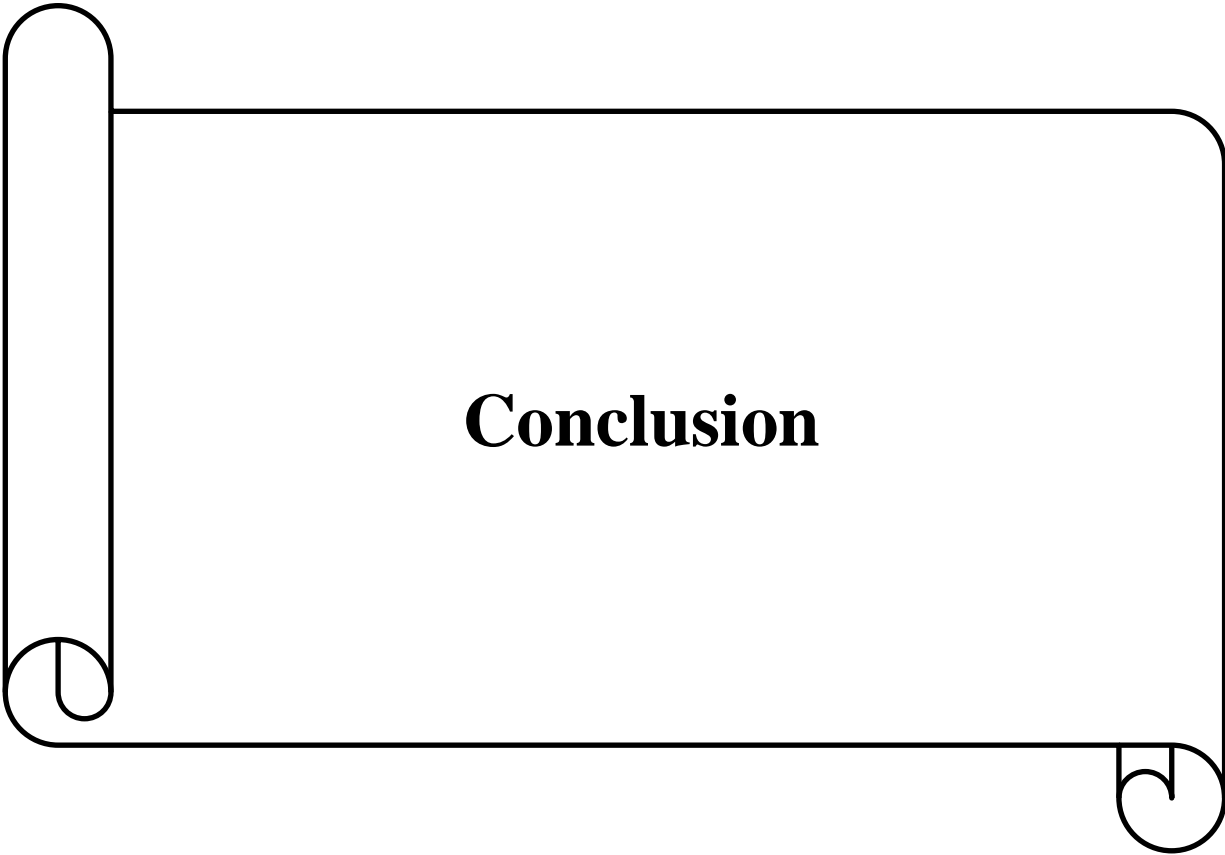
Concernant la faible teneur en potassium dans les feuilles, nos résultats sont cohérents avec ceux de (Thouraya et *al.* 2013), qui ont observé qu'une salinité élevée entraîne une réduction de la concentration de potassium (K^+) dans les feuilles, en raison de l'accumulation de sodium. Selon (Lokhande et *al.* 2010), le sodium concurrence le potassium pour pénétrer à l'intérieur de la cellule, affectant ainsi l'efficacité de l'absorption du potassium.

(Grattan et Grieve, 1999) ont expliqué que la salinité peut affecter le niveau d'absorption du potassium en fonction de l'espèce et du seuil de salinité. En effet, le Na^+ peut avoir un effet toxique direct quand il interfère comme cofacteur avec les différentes réactions et fonctions du K^+ . L'efficacité d'absorption et d'utilisation du K^+ , qui agit comme osmoticum, est donc capitale dans l'adaptation au stress salin.

Chapitre V : Analyse et discussion des résultats obtenus concernant l'impact du stress salin sur la fève expérimentation.

Tableau 13: matrice de corrélation :

variables	génotype	traitement	TRE	Teneur en protéine	Teneur en proline	Taux du sucres	Taux de sodium	Taux de potassium
Génotype	1,00	0,00	0,17	0,28	0,01	-0,32	0,12	0,14
Traitement	0,00	1,00	-0,44	-0,08	0,74	0,63	0,71	-0,26
TRE	0,17	-0,44	1,00	-0,06	-0,36	-0,29	-0,36	0,19
Teneur en protéines	0,28	-0,08	-0,06	1,00	0,04	-0,22	-0,28	0,11
Teneur en proline	0,01	0,74	-0,36	0,04	1,00	0,51	0,50	-0,33
Taux du sucres	-0,32	0,63	-0,29	-0,22	0,51	1,00	0,47	-0,25
Taux de sodium	0,12	0,71	-0,36	-0,28	0,50	0,47	1,00	-0,24
Taux de potassium	0,14	-0,26	0,19	0,11	-0,33	-0,25	-0,24	1,00



Conclusion

Conclusion

La salinité constitue un facteur limitant majeur pour la croissance et le développement des plantes, en particulier dans les régions arides et semi-arides où la salinisation des sols est courante. Son impact varie selon les organes, les espèces et l'intensité du stress. Dans ces conditions, les légumineuses sont privilégiées et jouent un rôle significatif dans l'amélioration de la fertilité du sol grâce à leur capacité à fixer l'azote atmosphérique.

Cette thèse contribue à l'étude de la réponse d'une légumineuse alimentaire, *Vicia faba* L., à la salinité en analysant divers paramètres physiologiques et biochimiques. Nous avons examiné trois variétés de fèves (*Vicia faba* L.) : Sofia, Ouiza Otona, et Carlodeluna, placées en conditions salines pour évaluer leurs réponses et déterminer leur tolérance ou sensibilité à la salinité. Les paramètres biochimiques (sucres totaux, protéines, proline, sodium et potassium) et physiologiques (teneur relative en eau) ont été mesurés dans les feuilles durant la phase de croissance végétative, révélant l'impact négatif de la salinité sur les plantes.

L'exposition à la salinité a induit des augmentations des teneurs en sucres solubles, en proline et en sodium, proportionnellement aux concentrations appliquées. En revanche, la teneur relative en eau et le taux de potassium ont diminué, tandis que les niveaux de protéines ont varié, augmentant chez certains génotypes et diminuant chez d'autres.

Les résultats ont montré que les trois variétés étudiées réagissent de manière significative à l'augmentation des concentrations salines, avec des différences notables dans leur tolérance au stress salin. Les génotypes Sofia et Carlodeluna se sont révélés les plus tolérants, en raison de leurs performances globales élevées sur plusieurs paramètres critiques, avec une légère préférence pour Sofia grâce à son rapport potassium/sodium supérieur et à sa teneur élevée en sucres. Ouiza Otona a également montré une bonne tolérance, principalement grâce à son RWC élevé.

De plus, il serait intéressant d'étudier les mécanismes physiologiques qui sous-tendent la tolérance au sel chez ces génotypes. Cela permettrait de mieux comprendre comment ils parviennent à maintenir leur croissance et leur rendement dans des conditions défavorables.

Enfin, il est important de rappeler que la tolérance au stress salin est un caractère complexe influencé par de nombreux facteurs, notamment la variété génétique, les conditions environnementales et les pratiques culturales.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ✓ **Abdelguerfi-Laouar M, Hamdi N, Bouzid H, Zidouni F Laib M, Bouzid L et Zine F (2001)**
Etat des légumineuses alimentaires en Algérie. Cas des ressources phytogénétiques de pois chiche dans la région de Béjaia.
- ✓ **AbdelKarim Ayyash Rana Nassour (2012):** The effect of salt stress on the photosynthetic pigments composition of two varieties of common wheat (*Triticum aestivum* L.) during the early growth stage Vol. 34 No. 1
- ✓ **Alexis Nicaise LEPENGUE ; Isaac MOUARAGADJA ; Séverin AKE ; Bertrand M'BATCHI 2012 De la reaction** biochimiques de la roselle au stress salin Quelques aspects biochimiques de la réaction de la roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *sabdariffa*) au stress Appl. Biosci.
- ✓ **Amanturdiev AB, Rejapova MM, Kurbanbaev ID, Azimov AA, Matniyazova HX (2020)**
Study on the stability of world diversity of cultured species *G. hirsutum* L. to salination. AJPS 11(09):1360 and their possible application in the breeding of vegetables BMC Plant Biology 23:139
- ✓ **Aoudjit, S. (2014).** Bioécologie et diapause reproductrice de la bruche de la fève *Bruchus rufimanus* dans deux parcelles de fève et féverole dans la région de Haizer (Bouira) Université Mouloud Mammeri
- ✓ **Asfaw E, Suryabhagavan KV, Argaw M (2018)** Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia. J Saudi Soc Agric Sci 17(3):250–258. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.05.003>
- ✓ **Baweja P, Kumar G (2020)** Abiotic stress in plants: an overview. In Plant stress biology, pp1-15
- ✓ **Benabderrahmane Safia, (2021),** Réponse biochimique et phytochimique d'une Fabacée soumise au stress salin, cas de *Vicia faba* L, UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES, THESE DE DOCTORAT, Pp :38-39
- ✓ **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. Eur Sci J 14(15):159–174
- ✓ **Bullo Neda, Tileye Feyissa, Kifle Dagne, Ermias Assefa** The Study of Morphological Characteristics and Statistics of the Phenotypes and Correlation in Faba Bean (*Vicia faba* L.) Germplasm conduite dans un substrat sableux amendé à 7 % de bentonite magister

Références bibliographiques

- ✓ **Derakaoui., 2018 .** Effet combiné de stress salin-métallique (cuivre, zinc) sur les paramètres
Effect of salt stress on growth and accumulation of proline and soluble sugars on plantlets of
Pistacia atlantica Desf. subsp. *atlantica* used as rootstocks 16(2), 159-165
- ✓ **Ehsan Tavakkoli, Foad Fatehi, Stewart Coventry, Pichu Rengasamy, Glenn K. McDonald**
(2011) Additive effects of Na⁺ and Cl⁻ ions on barley growth under salinity stress Journal of
Experimental Botany, Vol 62, Issue 6, 2011, P 2189–2203, <https://doi.org/10.1093/jxb/erq422>
- ✓ **El Midaoui M, Benbella M, Aït Houssa A, Ibriz M, Talouizte A (2007)** Contribution à l'étude
de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus*
L.). Rev HTE 136:29–34
- ✓ **Fahmy Hassan , Esmat Ali (2014)** Effects of salt stress on growth, antioxidant enzyme activity
and some other physiological parameters in jojoba AJCS 8(12):1615-1624 (2014) ISSN:1835-
2707
- ✓ **Fei XiaoFei , Xiao Huapeng Zhou, Huapeng Zhou 2023** Plant salt response: Perception,
signaling, and tolerance Vol 13 - 2022 | <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1053699>
- ✓ **Ghamnia Youcef (2014)** Action de la salinité sur les caractéristiques physiologiques,
biométriques, hydriques et minérales de la fève *Vicia faba* L.
- ✓ **Hernandez J.A, Ferrer M.A, Jimenez A, Barcelo A.R, Sevilla F, (2001).** Antioxidantsystems
and O₂-/H₂O₂production in the apoplast of pea leaves. It's relation with salt-induced necrotic
lesions in minor veins. Plant Physiol, 127: 817-831.
- ✓ **Halliwell, B. and Gutteridge, J.M.C. (1989)** Free Radicals in Biology and Medicine. 2nd Edition
- ✓ **Hachemi Benhassaini, Aicha Fetati, Amar Kaddour Hocine & Moulay Belkhodja (2012)**
Effect of salt stress on growth and accumulation of proline and soluble sugars on plantlets of
Pistacia atlantica Desf. subsp. *atlantica* used as rootstocks 16(2), 159-165
- ✓ **Hamdoud Nacera , (2012)** Effet du stress salin sur la croissance et la physiologie de la féverole
(*Vicia faba* L.). Magister p12-13
- ✓ **Doganlar, Z. B., Demir, K., Basak, H., & Gul, I. (2010).** Effects of salt stress on pigment and
total soluble protein contents of three different tomato cultivars. , frican Journal of Agricultural
Research Vol. 5(15), pp. 2056-2065 , DOI: 10.5897/AJAR10.258

Références bibliographiques

- ✓ **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.
- ✓ **J. Qin, W.Y. Dong, K.N. He1, Y. Yu, G.D. Tan1, L. Han, M. Dong, Y.Y. Zhang, D. Zhang, A.Z. Li, Z.L. Wang(2010)**"NaCl salinity-induced changes in water status, ion contents and photosynthetic properties of *Shepherdia argentea* (Pursh) Nutt. seedlings." Plant, Soil and Environment 56.7 (2010): 325-332
- ✓ **Jaihyunk Ryu, Dong-Gun Kim, Min-Kyu Lee, Jung Min Kim, Min Jeong Hong, Kyung-Yun Kang, Seok Hyun Eom, Si-Yong Kang1, Jin-Baek Kim, and Soon-Jae Kwon 2017** Fatty Acid Composition, Isoflavone and L-3,4-dihydroxyphenylalanine (L-dopa) Contents in Different Parts of Faba Bean (*Vicia faba*) Genotypes Plant Breeding and Biotechnology 2017;5:314-324
- ✓ **Jean-Yves Péron ;2006** Références productions légumières, 2e Edition Lavoisier
- ✓ **Lamyaa kh. Jawad, Mubashar S. Omer, Fadel H. Al-Sahaf (2010)** Effect of salt stress on vegetative growth characteristics of four potato cultivars plantlets in vitro 2010, Vol 8, Issue 2, P 168-189 ANBAR JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES
- ✓ **Luu Doan Trung, 2020** Comment les plantes supportent-elles un régime salé , p 7, Encyclopédie de l'environnement
- ✓ **Maher Hassan and Ms. Sulaf Germani (2023)** The Effect of Salinity Stress on Growth, Yield, and Fruit Quality of Two Strawberry Hybrids ,Damascus University Journal of Agricultural Sciences , Vo 39 No.1 (2023): 141 – 156
- ✓ **Mandeep Singh , Usha Nara , Antul Kumar , Anuj Choudhary , Hardeep Singh and Sittal Thapa (2021)** Salinity tolerance mechanisms and their breeding implications Journal of Genetic Engineering and Biotechnology (2021) 19:173 <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00274-4>
- ✓ **Misra SC, Randive R, Rao VS, Sheshshayee MS, Serraj R, Monneveux P (2006)** Relationship between carbon isotope discrimination, ash content and grain yield in wheat in the Peninsular Zone of India. J Agron Crop Sci 192(5):352–362 morpho-physiologiques et biochimiques chez la fève (*Vicia faba* L.)
- ✓ **Munns, R.(2002)** Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. 2002/ 25, 239–250.

Références bibliographiques

- ✓ **Mustafa Yildiz, İrem Poyraz, Aslinur Çavdar, Yasin Özgen and Ramazan Beyaz (2020)**
Plant Responses to Salt Stress , DOI:10.5772/intechopen.93920
- ✓ **Office National des Statistiques (2019)** LES STATISTIQUES DE L'AGRICULTURE LES PRODUCTIONS VEGETALES ET ANIMALES ; Rétrospective 2010-2019
- ✓ **Ouerghi Z ; Zid E ; Hadji M ;Soltani A., (2000)** : Comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum* L.) en milieu salé. In ROYO C., NACHIT MM., DIFONZO N., ARAUS JL., (eds). Durum wheat improverment in the mediterranean region: New challenges: l'amélioration du blé dur dans la région méditerranéenne: Nouveaux défis Zaragoza: CIHEAM. IAMZ: 309-313
- ✓ **Ouis Miryam et Belkhodja Moulay (2012)** RÉPONSE PROTÉIQUE D'UNE HALOPHYTE FACE AUX STRESS SALIN vol 2 p16-24
- ✓ **Paula Ragel, , Natalia Raddatz, Eduardo O. Leidi, Francisco J. Quintero, and José M. Pardo (2019)** , Regulation of K⁺ Nutrition in Plants Author information Article notes Copyright and License information PMC Disclaimer Front Plant Sci. 2019; 10: 281 doi: 10.3389/fpls.2019.00281
- ✓ **R'him Thouraya., Tlili Imen., Hnan Imen, Ilahy Riadh , Benali Ahlem et Jebari Hager (2013)** Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annuum* L.) Journal of Applied Biosciences 66:5060 – 5069 .2013
- ✓ **Rania Marzouki, Olfa Ezzine, Kaouther Ben Yahia, Samir Dhahri, Youssef Ammari, Mohamed Lahbib Ben Jamâa (2020)** Diversité biométrique et caractérisation biochimique des glands de chêne-liège du Nord-Ouest de la Tunisie Annales de l'INRGREF (2020), 21 : 55-69 ISSN 1737-0515
- ✓ **S. Karoune¹, M.S.A. Kechebar¹, Y. Halis¹, A. Djellouli¹ et C. Rahmoune² (2017)** Effet du stress salin sur la morphologie, la physiologie et la biochimie de l'*Acacia albida*
- ✓ **Saqer Alotaibi, Esmat Ali, Hadeer Darwesh, Abo-Taleb Ahmed and ,mad Al-Thubaiti (2019)**
Effect of Proline on Growth and Nutrient Uptake of *Simmondsia chinensis* (Link) Schneider under Salinity Stress September 2019Pakistan Journal of Biological Sciences 22(9):412-418
- ✓ **Seyedeh Roghayeh Ghadirnejad Shiadeh Hamtaleh Pirdashti , Mohammad Ali Esmaeili , Ghorbanali Nematza** Physiological and Biochemical Evaluation of Sixth Generation Rice

Références bibliographiques

- Mutant Allenes (*L sativa Oryza*)under Salinity stress, *Journal of Plant Process and Function* Iranin Society Of Plant Physiology , 9(35): 57-72
- ✓ **Shams, M., Khadivi, A.(2023)** Mechanisms of salinity tolerance and their possible application in the breeding of vegetables. *BMC Plant Biol* 23, 139 (2023). <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04152-8>
 - ✓ **Shanhu Hao,Yiran Wang,Yunxiu Yan,Yuhang Liu,Jingyao Wang andSu Chen ORCID (2021)** A Review on Plant Responses to Salt Stress and Their Mechanisms of Salt Resistance *Horticulturae*, 7(6), 132; <https://doi.org/10.3390/horticulturae7060132>
 - ✓ **Soon-Jae Kwon, Dong-Gun Kim, Jung Min Kim, Kyung-Yun Kang, Min-Kyu Lee, Min Jeong Hong, Jin-Baek Kim, Seok Hyun Eom, Si-Yong Kang, Bo-Keun Ha, and Jaihyunk Ryu 2018** Phytochemical Compounds and Antioxidant Activity in the Grain of Selected Faba Bean (*Vicia faba*) Genotypes *Plant Breeding and Biotechnology* 2018;6:65-73
 - ✓ **Thuvaraki Balasubramaniam ORCID,Guoxin Shen ,Nardana Esmaeili ,ORCID andHong Zhang (2023)** Plants' Response Mechanisms to Salinity Stress , *Plants* 2023, 12(12), 2253; <https://doi.org/10.3390/plants12122253>
 - ✓ **TREMBLIN G ; FERARD G., 1994:** Croissance et accumulation de sels chez *Halopeplis amplexicaulis* (Vahl.) Ung. cultivé à différentes salinités. *Acta Oecologica*. 15 (3): 355-364.
 - ✓ **Turan, M. A. ; A. H. A. Elkarim ; N. Taban and S. Taban.(2009).** Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plant. *Afr. J. Agric. Res.* 4 (9): 893 – 897
 - ✓ **Vinayak Haribhau Lokhande Tukaram Dayaram Nikam Suprasanna Penna(2010)** Biochemical, physiological and growth changes in response to salinity in callus cultures of *Sesuvium portulacastrum* *Plant Cell Tiss Organ Cult* () 102:17–25 DOI 10.1007/s11240-010-9699-3
 - ✓ **Wikipedia Vicia laba,** http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Vicia_faba&oldid=214758685
 - ✓ **Yasir Sayel Sekhi, Atheer Mohammed Ismail Al-Janabi, Ahmed Fatkhan Zabar Al-Dulaimy (2024)** Salt Physiology stress and its effect in plants Article in , *Journal of Education and Scientific Studies* Vol 1, Issue 23, P 153-166

Références bibliographiques

- ✓ **Yuvaraj M, Subash K, Bose C, Elavarasi P, Tawfik E (2021)** Chapter: Soil salinity and its management. In Meena RS, Datta R (eds) Soil moisture importance. Books on Demand
- ✓ **Zakaria Islem Ziche, Amel Souhila Belouchrani, Nadjib Drouiche, (2023)**, *Gesunde Pflanzen* (2023) 75:1897–1903, <https://doi.org/10.1007/s10343-023-00857-w>
- ✓ **Zeenat Mushtaq Shahla Faizan , Basit Gulzar (2020)** Salt stress, its impacts on plants and the strategies plants are employing against it: A review, *Journal of Applied Biology & Biotechnology* Vol. 8(03), pp. 81-91, May-June, 2020 DOI: 10.7324/JABB.2020.80315
- ✓ **Zeina S. Rashid (2016)** Effect of Salt Water Irrigation and Amino Acid (Proline and Arginine) on Some Chemical Components of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Leaves , *Basrah Journal of Agricultural Sciences* Vol 29, Issue 2, Pages 445-460