



Université Mohamed khider de Biskra
Faculté des sciences de la nature, de la vie, des sciences de la terre et de
l'univers
Département des Sciences de la nature et de la vie

Référence.....

MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Présente et soutenu par :

MARFEG ICHRAK et KARA MANHEEL

Le : 18 juin 2025

Thème

**L'effet du stress salin sur les caractéristiques morphologiques
des feuilles de fève (*vicia faba* L.)**

Jury :

JUNAIDI Habiba	MCA	Université de Biskra	Président
M. LAIADI Ziane	Pr.	Université de Biskra	Rapporteur
ABSI Rima	MCA	Université de Biskra	Examinateur

Année universitaire : 2025-2026

Remerciement

Louange à Dieu, Seigneur des mondes, qui nous a accordé la santé, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail. C'est par Sa miséricorde et Sa bénédiction que nous avons pu franchir les différentes étapes de ce mémoire. Que la paix et les bénédictions soient sur notre Prophète Mohammed, exemple de savoir et de sagesse.

Ce travail n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien et l'encadrement bienveillant de plusieurs personnes que nous tenons ici à remercier sincèrement.

Avant tout, nous exprimons notre profonde reconnaissance à notre encadrant, Monsieur Laiadi Ziane, pour sa disponibilité, sa rigueur scientifique et son engagement constant à nous accompagner tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ses conseils avisés, ses remarques constructives et sa patience nous ont été d'une aide précieuse tant sur le plan scientifique que sur le plan humain. C'est un privilège d'avoir été guidés par un enseignant de sa qualité.

Nous tenons également à adresser nos plus sincères remerciements aux membres du jury, qui ont accepté de juger ce travail. Leur regard critique, leur expertise et le temps qu'ils ont consacré à la lecture et à l'évaluation de ce mémoire sont pour nous un honneur et une source d'enrichissement.

Nous remercions également Madame Wahiba Yahyiaoui, pour l'assistance qu'elle nous a offerte durant certaines étapes de notre travail. Son aide a été appréciée et témoigne de sa disponibilité et de son esprit de collaboration.

Nous souhaitons également exprimer toute notre gratitude à Monsieur Ayoub Hadjeb, pour le soutien et l'encouragement qu'il nous a apportés au cours de notre parcours. Sa présence et ses conseils ont eu un impact positif que nous reconnaissions pleinement.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, que ce soit par un mot, un geste ou un conseil.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À celui qui m'a offert le souffle de vie, et à celle qui m'a appris à me tenir fièrement
face au monde,

À vous, ma mère et mon père, mes modèles de vie, chaque ligne de ce travail porte
l'empreinte de votre amour infini.

À mon mari, Hafid Rami,

Pour sa patience, son soutien indéfectible et sa présence rassurante tout au long de ce
parcours académique.

À mes sœurs, Samia et Amale,

Votre soutien a eu un impact profond sur ma vie.

À toute ma famille,

Pour vos paroles, vos silences, votre présence

merci d'avoir été là, tout simplement.

Ichrak

Dédicaces

Je dédie ce travail À ma chère mère, qui m'a accompagnée sur les chemins de la vie et soutenue à chaque étape, qui a semé en moi l'amour du savoir et m'a appris la patience et la persévérance.

À mon père, mon modèle et mon pilier, qui a cultivé en moi la force et la volonté.

À mes chers frères, vous avez été la lumière dans mes jours sombres et un soutien inestimable dans les moments difficiles.

À l'épouse de mon frère, ma compagne de route et fidèle amie, merci pour ta présence réconfortante et ton soutien sincère qui ne m'a jamais fait défaut.

À mes chères amies : Sondos, Amina et Anissa, toujours présentes dans les épreuves, je vous adresse toute ma gratitude et mon affection.

Et à toute ma famille et mes amis, je vous dédie le fruit de cet humble travail, car c'est grâce à vous, après Dieu, que je suis celle que je suis aujourd'hui.

Manheel

Sommaire

Liste des Tableaux	I
Liste des Figures.....	II
Liste des abréviations	III
Introduction.....	1
Parti I Synthèse bibliographique.....	1
Chapitre 1 Généralité sur la Salinité.....	1
1. la Salinité.....	5
1.1. Définition de la salinité	5
1.2. Les différents types de salinité.....	5
1.2.1. Salinisation primaire.....	5
1.2.2. Salinisation secondaire	5
1.3. Les causes de la salinité des sols.....	5
2. Notion de stress	6
2 .1. La définition	6
2.2. Les types de stress.....	6
2.2.2. Le stress abiotique	6
3. Définition de stress salin.....	7
4. Les effets des salinisations sur les plantes	8
4.1. Les effets sur la morphologie de la plante	8
4.2. Effet de la salinité sur les feuilles	9
4.3. Effet de la salinité sur les tiges.....	9
Chapitre 2 La fève (<i>Vicia faba L.</i>)	5
1. Définition de La fève.....	11

2. Description.....	11
3. Classification	12
4 .Importance de la fève.....	13
Partie II Étude expérimentale	11
Chapitre 1 Matériel et méthodes	11
1. Objectif	17
2. Matériel Végétal	17
3. Localisation de la culture	18
4. Préparation d'une solution saline.....	19
5. Matériel Informatique	19
6. Méthode de travail	19
6.1. Préparation des échantillons.....	19
6.2. Les paramètres mesurés	20
Chapitre 2 Résultats et discussion.....	17
1.Évaluation des caractères quantitatifs.....	23
1.1. L'analyse en composantes principales (ACP).....	23
1.1.1. Résultats d'ACP pour les caractères étudiés	23
1.1.2. Cercle de corrélation.....	24
1.1.3. La matrice de corrélation.....	25
1.1.4. Étude des paramètres	28
1.2. L'analyse de la variance	32
1.2.1. L'analyse de la variance « LOG/LAG ».....	32
1.2.2. L'analyse de la variance « LD1/LG1 ».....	33
1.2.3. L'analyse de la variance « LD2/LG2 »	35
1.2.4. L'analyse de la variance « LD3/LG3 »	36
1.2.5. L'analyse de la variance « AD2/AG2»	37
1.2.6. L'analyse de la variance « AD3/AG3»	39

2.Évaluation des caractères qualitatifs	41
2.1.Évaluation des caractères La couleur de la feuille	41
2.2.Évaluation des caractères La tache noire	42
2.3. Évaluation des caractères La taille tache noire	43
2.4. Évaluation des caractères La tache jaune.....	44
2.5. Évaluation des caractères La taille de feuille	45
Conclusion	46
Références Bibliographiques	23
Annexes	48

Liste des Tableaux

Tableau 1. Valeurs propres	23
Tableau 2. La matrice de corrélation	26
Tableau 3. Cosinus carrés des variables	28
Tableau 4. Analyse de la variance « LOG/LAG »	32
Tableau 5. Analyse des différences entre les modalités (Bonferroni) "LOG/LAG "	32
Tableau 6. Niveau de signification corrigé	33
Tableau 7. Analyse de la variance « Ld1/Lg1 »	33
Tableau 8. Analyse des différences entre les modalités (Bonferroni) »Ld1/Lg1 »	34
Tableau 9. Niveau de signification corrigé	34
Tableau 10. Analyse de la variance »Ld2/Lg2 »	35
Tableau 11. Analyse des différences entre les modalités (Bonferroni) »Ld2/Lg2 »	35
Tableau 12. Niveau de signification corrigé	35
Tableau 13. Analyse de la variance « Ld3/Lg3 »	36
Tableau 14. Analyse des différence entre la modalité (Bonferroni) « Ld3/Lg3 »	36
Tableau 15. Niveau de signification corrigé	37
Tableau 16. Analyse de la variance « AD2/AG2 »	37
Tableau 17. Analyse des différence entre les modalités (Bonferroni) « AD2/AG2 »	38
Tableau 18. Niveau de signification corrigé	38
Tableau 19. Analyse de la variance « AD3/AG3 »	39
Tableau 20. Analyse de différence entre les modalité (Bonferroni) « AD3/AG3 »	39
Tableau 21. Niveau de signification corrigé	40

Liste des Figures

Figure 1. Plant de vicia faba l.major	12
Figure 2. gousse de féves vicia faba l.major	12
Figure 3. Graines de féves (vicia faba.L).....	17
Figure 4. Zone de forestière	18
Figure 5. Plante de fève (vicai faba)	18
Figure 6. Schéma de la nervation typique de la feuille de fève (Vicia faba)	21
Figure 7. Cercle de la corrélation des variables quantitatifs (F1 et F2)	24
Figure 8. Analyse en composantes principal pour la distribution des groupes selon les variables	30
Figure 9. Des histogrammes des variations de la couleur de la feuille sous différentes concentrations de salinité	41
Figure 10. Des histogrammes de l' présence et de l'absence de points noirs sur de fève sous différentes concentration de salinité.....	42
Figure 11. Des histogrammes de la variation de la taille des points noirs sur la feuille de fève sou différentes concentrations de salinité.....	43
Figure 12. Des histogrammes de la présence et de l'absence de la tache jaune sur la feuille de fève sous différentes concentration de salinité	44
Figure 13. colonnes graphiques des variations de la taille de la feuille de fève sous différentes concentration de salinité.....	45

Liste des abréviations

F : foncée

M : moyenne

C : clair

G : grand

P : petite

Introduction

Le stress salin (salinité) est le stress abiotique qui influence le plus la croissance et la production des plantes. Les sols ou l'eau sales peuvent fortement affecter les réponses physiologiques et biochimiques des plantes, entraînant une perturbation générale de leur statut nutritionnel, un stress osmotique et une toxicité ionique spécifique en raison de l'accumulation d'ions sodium (Na^+) et chlorure (Cl^-) (**Bsoul et al., 2023**).

La salinité affecte la croissance des plantes à toutes les étapes de leur développement, bien que la sensibilité varie considérablement selon les différentes phases (**Kpinkoun et al., 2019**).

La fève (*vicia faba* L.) est une légumineuse constituant une source précieuse de protéines, tant pour l'Homme que pour les animaux. En outre, grâce à sa capacité à fixer l'azote atmosphérique, elle permet de réduire les besoins en fertilisants azotés, ce qui en fait un atout majeur pour les pratiques agricoles durables (**Yahia et al., 2016**). Toutefois, les légumineuses, en général, sont reconnues pour leur sensibilité ou leur tolérance modérée au stress salin. La fève (*vicia faba* L.) s'avèrent modérément sensibles à la salinité (**Semida et al., 2014**).

La Problématique de cette étude est de comprendre comment la salinité influence la morphologie des feuilles de la fève (*vicia faba*), et à repérer les modifications distinctes entre les feuilles traitées avec de l'eau saline et celles cultivées dans des conditions normales.

Hypothèses : nous supposons que la salinité diminue la dimension des feuilles et provoque des changements morphologiques spécifiques.

L'objectif de Cette étude vise à d'évaluer les effets du stress salin sur la morphologie foliaire de la fève (*vicia faba*).

Plusieurs chercheurs ont mené des études sur ce sujet, parmi lesquels **Ghoulam et al. (2001)**, qui ont travaillé sur la betterave sucrière, ainsi que **Chartzoulakis et Klapaki (2000)**, qui ont étudié le poivron doux et le piment. Tous ont conclu que la salinité affecte la morphologie de la feuille.

Dans cette optique, une expérience sera menée dans un environnement control divisant les plants en deux groupes : l'un arrosé avec de l'eau non salée (témoin) et l'autre avec une solution saline (0mM, 60mM, 120mM). Les feuilles seront analysées pour des paramètres tels que la longueur, la largeur, les nervures secondaires et les angles foliaires. Une analyse de variance (ANOVA) sera appliquée aux données collectées afin de repérer les variations significatives

entre les traitements. Une analyse en composantes principales (ACP) sera également réalisée pour déterminer les variables morphologiques les plus affectées par la salinité.

Nous avons divisé notre travail en deux parties :

- La première partie est sur les généralités de la fève (*vicia faba*) et la salinité
- La deuxième partie est expérimentale, consacrée au matériel et aux méthodes, résultats et discussions, et enfin la conclusion.

Parti I

Synthèse bibliographique

Chapitre 1

Généralité sur la salinité

1. La salinité

1.1. Définition de la salinité

La salinité désigne l'accumulation de sels solubles dans le sol ou dans l'eau, à un niveau tel qu'il nuit à la croissance, à la santé et au développement des plantes cultivées (**Srivastava et al., 2019**).

Les sols salins contiennent plusieurs types de sels solubles, chacun ayant un effet différent sur la croissance initiale des plantes (**Elsiddig et al., 2021**).

1.2. Les différents types de salinité

1.2.1. Salinisation primaire

La salinisation primaire désigne la présence naturelle de fortes concentrations de sels dans les sols ou les eaux souterraines, c'est-à-dire en l'absence de toute activité humaine. Ce phénomène résulte de l'altération de roches riches en minéraux au cours des temps géologiques. Les minéraux responsables de la salinité sont principalement le chlorure de sodium (Na Cl), qui est le plus soluble, ainsi que les chlorures de calcium et de magnésium, et dans une moindre mesure, les carbonates et les sulfates. De nombreux lacs salés, ainsi que certaines zones littorales, abritent des écosystèmes adaptés à ces conditions extrêmes (**Luu et al., 2022**).

1.2.2. Salinisation secondaire

La salinisation secondaire est causée par des activités humaines, principalement l'irrigation avec de l'eau salée ou des pratiques d'irrigation inadaptées, souvent associées à de mauvaises conditions de drainage. Dans les régions arides, caractérisées par de faibles précipitations, un taux élevé d'évapotranspiration et des sols dont les propriétés limitent le lessivage des sels, les terres irriguées arides représentent des points chauds de salinisation.

Lorsque l'accumulation constante ou croissante de sel dans les couches supérieures du sol est principalement due à l'irrigation avec une eau fortement salée, telle que l'eau souterraine contaminée par l'eau de mer, des problèmes peuvent survenir, même lorsque de l'eau utilisée est de qualité relativement satisfaisante. L'élévation du niveau de la nappe phréatique, due à la filtration à partir de canaux non revêtus, de réservoirs et d'engorgements, une distribution inégale de l'eau d'irrigation, le défrichement et un drainage insuffisant peuvent mobiliser les sels accumulés dans les différentes couches du sol (**Daliakopoulos et al., 2016**).

1.3. Les causes de la salinité des sols

Il existe de nombreuses causes possibles de la présence de sels dans les sols, les sources plus courantes étant les suivantes :

- La salinité naturelle du sol, (altération des roches et du matériau parental).
- L'utilisation d'eaux saumâtres ou salées pour l'irrigation.
- Intrusion d'eau de mer dans les terres côtières et les aquifères, en raison de l'extraction excessive et de la surexploitation de l'eau douce.
- Drainage limité et remontée de la nappe phréatique.
- L'évaporation à la surface du sol et transpiration des plantes.
- La brumisation d'eau de mer et la retombée des vapeurs condensées sous forme de pluie.
- Transport de sels par le vent, ce qui crée des champs salins (**Shahid et al., 2018**).

2. Notion de stress

2 .1. La définition

D'après **Leavitt (1980)**, le stress désigne l'impact négatif d'un facteur environnemental sur un organisme. Selon **Hopkins (2003)**, il s'agit de toute force ou condition défavorable susceptible de perturber le fonctionnement régulier d'une plante (croissance, développement et productivité).

2.2. Les types de stress

Les principaux types de stress auxquels les plantes sont confrontées sont les stress biotiques et abiotiques.

2.2.1. Le stress biotique

Le stress biotique désigne les conséquences négatives causées par les organismes vivants. En agriculture, il s'agit généralement des dommages causés par les insectes, les nématodes parasites des plantes, les agents pathogènes (tels que les bactéries, les virus et les champignons) et les plantes indésirables.

Ainsi, les plantes sont soumises à des stress biotiques causés par différents organismes tels que les virus, les bactéries, les champignons, les nématodes, les insectes, les acariens, les mauvaises herbes et certaines graminées (**Liu et al., 2016**).

2.2.2. Le stress abiotique

Le stress abiotique est défini comme l'impact négatif de facteurs non vivants sur les organismes vivants dans un environnement spécifique (**Mittler, 2006**).

Il inclut des effets potentiellement nuisibles tels que la salinité, la sécheresse, les inondations, la toxicité des métaux, les carences en nutriments, ainsi que des températures extrêmes, qu'elles soient élevées ou basses (**Shafiq et al., 2005**).

- Les principaux stress abiotiques qui réduisent le rendement des cultures :

- Stress salin :

Le stress salin constitue l'un des principaux facteurs limitant la croissance et la productivité des cultures. La salinité des sols représente un défi majeur à l'échelle mondiale pour l'agriculture, car elle entraîne une diminution significative des rendements agricoles et, par conséquent, une diminution de la productivité des cultures dans les régions affectées par le sel. Ce phénomène résulte de l'accumulation progressive de sels dans le sol ou les nappes phréatiques, provoquée soit par des processus naturels, soit par des activités humaines (**Umar et al., 2021**).

- Stress hydrique

Le manque d'eau représente une contrainte environnementale majeure pour la productivité des plantes. L'intensité de la sécheresse dépend de plusieurs facteurs, tels que l'occurrence et la répartition des précipitations, les besoins en évaporation et la capacité de rétention d'humidité des sols, qui restent tous imprévisibles (**Umar et al., 2021**).

- Stress thermique

L'augmentation des températures mondiales est désormais un problème majeur, impactant non seulement le développement des plantes, mais aussi leur productivité, notamment celle des cultures agricoles. Le stress thermique est devenu le facteur limitant principal de la productivité des cultures et, par conséquent, de la sécurité alimentaire. Lorsque les plantes subissent un stress thermique, des effets négatifs se manifestent, tels qu'une diminution du taux de germination des graines, de l'efficacité de la photosynthèse et du rendement des cultures (**Umar et al., 2021**).

3. Définition de stress salin

La salinité représente un stress majeur qui entrave l'augmentation de la productivité des cultures vivrières. Plus de 20 % des terres agricoles dans le monde sont affectées par le stress salin, et cette superficie continue d'augmenter chaque année. Le stress salin réduit la production végétale et entraîne divers changements dans les processus physiologiques et métaboliques des plantes, dont l'ampleur varie en fonction de la sévérité et de la durée du stress. En fin de compte, ce phénomène peut limiter la productivité des cultures. De plus, la salinité des sols est connue pour freiner la croissance des plantes dès le début sous l'effet d'un stress osmotique, suivi d'une toxicité ionique (**Abobatta, 2020**).

4. Les effets des salinisations sur les plantes

La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent tolérer sans subir de dommages importants à leur rendement varie non seulement entre les familles, les genres et les espèces, mais aussi entre les différentes variétés. C'est pourquoi il est impossible de définir, de manière absolue, le seuil de salinité au-delà duquel les cultures commencent à souffrir du stress salin.

Les conséquences du stress salin peuvent résulter de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes :

- Le stress hydrique : Une concentration saline élevée dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique approprié, afin que le potentiel hydrique cellulaire reste inférieur à celui du milieu extracellulaire ainsi qu'à celui du sol salin. Ce des cellules, ce qui provoque un déficit hydrique et une perte de turgescence mécanisme permet, d'une part, la poursuite de l'absorption de l'eau à partir du sol et, d'autre part, la rétention de l'eau intracellulaire, assurant ainsi le maintien de la turgescence
- Stress ionique : Malgré un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique
- Stress nutritionnel : Des concentrations excessives de sels dans l'environnement entraînent des altérations de la nutrition minérale. En particulier, en ce qui concerne les transporteurs d'ions cellulaires, le sodium concurrence le potassium et le calcium, tandis que le chlorure entre en compétition avec le nitrate, le phosphate et le sulfate. Ainsi, il est possible de démontrer l'influence du sel sur des activités métaboliques cruciales telles que l'absorption de l'eau et des nutriments, l'ajustement osmotique, la synthèse des protéines et des acides nucléiques, l'accumulation de solutés organiques, l'équilibre hormonal, les taux de respiration, la photosynthèse et leur interaction avec la microflore du sol (**Aurélie et al., 1995**).

4.1. Les effets sur la morphologie de la plante

Le stress salin induit des effets ioniques et osmotiques chez les plantes, auxquels sont étroitement liées la plupart des réponses physiologiques observées. L'accumulation de sels dans les feuilles accélère la sénescence prématuée en réduisant l'apport d'assimilates vers les zones de croissance, ce qui ralentit le développement global de la plante. Cet effet se manifeste rapidement par une inhibition de l'elongation cellulaire, affectant directement la croissance végétative (**Abobatta, 2020**).

4.2. Effet de la salinité sur les feuilles

Chez les glycophytes exposés au stress salin, la diminution de la croissance foliaire constitue l'une des premières réponses observées. La réduction de la surface foliaire, et par conséquent de la canopée, peut être interprétée comme un mécanisme d'évitement visant à limiter les pertes hydriques par transpiration, notamment lorsque les stomates se ferment. En conditions salines, les propriétés des parois cellulaires se modifient, entraînant une baisse de la turgescence foliaire ainsi qu'une diminution des taux de photosynthèse, ce qui contribue à la réduction de la surface foliaire totale (**Motos *et al.*, 2017**).

4.3. Effet de la salinité sur les tiges

La croissance de la tige, qui fait partie des organes aériens, est également généralement inhibée par des concentrations élevées de sel. La réduction concomitante du développement des feuilles et des tiges entraîne une diminution globale de la taille des parties aériennes ainsi qu'une baisse de la hauteur de la plante (**Motos *et al.*, 2017**).

Chapitre 2

La fève (*vicia faba* L.)

1. Définition de La fève

La fève (*vicia faba L.*) appartient à la famille des Fabacées et porte de nombreuses appellations communes. Elle est originaire de l'Afrique du Nord et d'Asie du Sud-Ouest, où elle est largement cultivée. L'espèce se sont répandues de la région méditerranéenne vers l'Europe, puis à travers l'Eurasie et jusqu'aux régions du Nouveau Monde. Toutes ces régions pratiquent une culture extensive, en particulier la Chine. Bien qu'elle soit classée parmi le même genre que les vesces (*vicia*), certains botanistes soutiennent que l'espèce devrait être considérée comme un genre monotypique indépendant, *Faba sativa Moench* ou *Faba bona Medik*. Aucun progéniteur sauvage de la fève n'a été identifié et l'espèce ne produit pas d'hybrides fertiles avec aucune autre espèce de *Vicia* (Street *et al.*, 2008).

2. Description

La fève est une espèce diploïde ($2n = 12$), comprenant six paires de chromosomes homologues, et se caractérise par une reproduction partiellement allogame. Le taux d'allogamie rapporté varie entre 8 % et 84 %, avec une moyenne estimée à 35.

La plante présente un port rigide et érigé, atteignant une hauteur comprise entre 0,5 et 1,7 mètre. Ses feuilles, longues de 10 à 25 cm, sont pennées et composées de deux à sept folioles. Elles arborent une teinte gris-vert caractéristique

Contrairement à la majorité des espèces du genre *vicia*, la fève (Figure 1) ne possède pas de vrilles, ce qui la rend incapable de grimper. Les gousses sont larges, vertes et épaisses, devenant brun noirâtre à maturité, avec une texture veloutée et denses sur le plan morphologique (Street *et al.*, 2008).

Trois types principaux sont distingués selon la taille des graines : la variété *major*, à grosses graines ; la variété *equina*, de taille intermédiaire ; et la variété *minor*, à petites graines (Singh *et al.*, 2012).

Les fruits de la fève sont des gousses pendantes, qui noircissent à maturité. Les graines (figure2), sont initialement charnues, vertes et tendres à l'état immature. À pleine maturité, elles développent un tégument épais et coriace, dont la couleur varie du brun-rouge au blanc verdâtre. Elles adoptent alors une forme aplatie, proche du cercle.

Le système racinaire de la plante est composé d'une racine principale pivotante accompagnée de racines secondaires. Ces dernières portent des nodosités renfermant des

bactéries fixatrices d'azote du genre *rhizobium leguminosarum*, contribuant ainsi à la fertilité du sol (Hannachi, 2019).



Figure 1. Plant de *vicia faba l.major*



Figure 2. gousse de fèves *vicia faba l.major*

3. Classification

Décrise pour la première fois par **Carl Linné en 1753**, communément appelée fève (*vicia faba L.*), est une plante dicotylédone herbacée, originaire d'Asie ou du Moyen-Orient. Sa culture remonte à l'Antiquité et s'est largement répandue à travers le monde.

Sa classification systématique, selon **Reta Sanchez et al. (2008)**, est la suivante :

- Règne : *Plantae*
- Sous-règne : *Tracheobionta*
- Division : *Magnoliophyta*
- Classe : *Magnoliopsida*
- Sous-classe : *Rosidae*
- Ordre : *Fabales*
- Famille : *Fabaceae*
- Genre : *Vicia*
- Espèce : *faba*

On distingue deux sous-espèces de *vicia faba* : *paucijuga* et *eu-faba*. C'est cette dernière, *eu-faba*, qui fait l'objet de notre intérêt. Elle comprend trois variétés principales :

- *Vicia faba var. major* : appelée fève maraîchère, elle se caractérise par de grosses graines destinées à la consommation humaine.
- *Vicia faba var. minor* : communément appelée petite fève ou féverole, elle est principalement utilisée comme aliment pour le bétail.
- *Vicia faba var. equina* : également connue sous les noms de fève à cheval, féverole ou févette selon les régions, elle possède des graines de taille moyenne et est également destinée à l'alimentation animale
(Bouker, 2024).

4 .Importance de la fève

Vicia faba L. (féverole, également connue sous le nom de fève ou haricot d'Inde) est la quatrième légumineuse de saison froide la plus cultivée dans le monde, après le pois (*pisum sativum*), le pois chiche (*cicer arietinum*) et la lentille (*lens culinaris*). Elle se distingue par une teneur en protéines plus élevée que celle des autres légumineuses alimentaires courantes. Par ailleurs, le rendement en grains de la féverole est positivement corrélé à la teneur en protéines des graines .La culture de la féverole remonte aux débuts de l'agriculture, et elle demeure aujourd'hui une espèce d'importance majeure en raison de son fort potentiel de rendement, de la richesse nutritionnelle de ses graines, ainsi que de son utilisation en tant que fourrage et plante de couverture. À l'instar des autres légumineuses, la féverole joue un rôle clé dans l'amélioration des systèmes agricoles à base de céréales, notamment grâce à sa capacité à enrichir la fertilité des sols. En 2016, la superficie mondiale récoltée en féverole s'élevait à 2,4 millions d'hectares (**Maalouf et al., 2018**).

La feuille de fèves (*vicia faba L.*) est un élément essentiel des processus physiologiques de la plante, tels que la photosynthèse, la transpiration et les échanges gazeux. La feuille subit d'importantes modifications morphologiques et anatomiques lorsqu'elle est exposée à des conditions défavorables.

Dans ce contexte, plusieurs chercheurs ont mené des études sur les modifications morphologiques de la feuille, intitulées : La carence en phosphore exacerbe l'effet du déficit

hydrique sur certaines caractéristiques morphologiques et physiologiques de quatre variétés de fèves (*vicia faba L.*) (**Oukaltouma et al., 2021**).

Siddiqui et al. (2015) ont étudié les caractéristiques morphologiques et physiologiques de différents génotypes de fèves (*vicia faba L.*) soumis à un stress thermique.

De leur côté, **Elmaghalawy et Abdelhakam (2022)** ont observé des modifications au niveau du nombre de feuilles ainsi que de la longueur et de la largeur des feuilles dans leur étude intitulée « Intensité lumineuse et réponse phénotypique chez deux variétés de *vicia faba L.* ».

Partie II

Étude expérimentale

Chapitre 1

Matériel et méthodes

1. Objectif

Cette étude vise à évaluer l'impact des facteurs environnementaux, en particulier la salinité du sol et le stress physiologique qu'elle induit, sur les caractéristiques morphologiques des feuilles de la fève (*vicia faba*). Pour ce faire, des traitements à base d'eau salée ont été appliqués sur certains sites expérimentaux afin de reproduire des conditions de stress salin. Cette approche s'inscrit dans la continuité des travaux menés sur d'autres espèces végétales, telles que la betterave sucrière (*beta vulgaris*) (Aycan *et al.*, 2023) et *le lycium barbarum L* (Yao *et al.*, 2023). L'évaluation des effets de la salinité a été réalisée à travers la mesure de différents paramètres morphologiques, notamment la longueur et la largeur des feuilles, comme l'étude de Hussein *et al.*, (2017).

2. Matériel Végétal

Le matériel végétal utilisé dans notre expérimentation est constitué de graines de la fève (*vicia faba L.*), une variété appartenant à la famille des Fabacées (Figure 3).



Figure 3. Graines de fèves (*vicia faba.L*)

3. Localisation de la culture

L'expérimentation a été réalisée dans une zone forestière située à El Kantara, dans la wilaya de Biskra (Figure 4 et 5), sous des conditions naturelles. Quinze plants de fève (*vicia faba L.*) ont été cultivés de mars à mai. Les graines ont été semées directement dans le sol forestier, de manière aléatoire, préalablement labouré et humidifié afin de favoriser une bonne germination. La répartition des plants a été effectuée en trois lots homogènes, de cinq plants chacun.



Figure 4. Zone de forestière



Figure 5. Plante de fève (*vicia faba*)

4. Préparation d'une solution saline

Chaque échantillon a été soumis à un traitement distinct, selon une étude **d'Abdul Qados (2010)** :

- **Échantillon témoin** : arrosé avec de l'eau douce (0mM) 0 mS/cm.
- **Échantillon 2** : arrosé avec une solution saline contenant 3,5 g (60 mM) de NaCl par litre d'eau (6 mS/cm).
- **Échantillon 3** : arrosé avec une solution saline contenant 7 g (120 mM) de NaCl par litre d'eau (12 mS/cm) (Voir annexes 1, 2 et 3).

5. Matériel Informatique

- Scanner.
- Ordinateur avec logiciel Image Tool : Pour l'analyse des images et la mesure des paramètres morphologiques.
- Logiciel statistique (XLSTAT) : Pour l'analyse statistique des données.

6. Méthode de travail

6.1. Préparation des échantillons

- sélectionnées et division des feuilles :
 - Échantillon 1 : 42 feuilles ont été sélectionnées et réparties en groupes.
 - Échantillon 2 : 119 feuilles ont été sélectionnées et réparties en groupes.
 - Échantillon 3 : 51 feuilles ont été sélect.
- Les feuilles ont été soigneusement séparées des plantes, en veillant à préserver leurs caractéristiques naturelles.
- Les échantillons foliaires ont été immédiatement transportés au laboratoire pour les analyses nécessaires.
- Les feuilles ont été placées sur un scanner et numérisées avec une haute précision.
- Lors de la numérisation, chaque feuille a été classée selon le cultivar auquel elle appartient.

- Le logiciel Image Tool a été utilisé pour mesurer les différentes dimensions et angles liés aux caractéristiques morphologiques des feuilles.
- Les données ont été collectées de manière précise et exhaustive afin de les préparer pour l'analyse statistique ultérieure.

6.2. Les paramètres mesurés

Sur la base de recherches appliquées à d'autres espèces végétales notamment le maïs (*zea mays*) (Khan *et al.*, 2023) pertinents pour analyser l'impact du stress salin sur la morphologie foliaire du plant (Figure 6):

LOG/F : La longueur foliaire mesurée du point d'insertion du pétiole sur la tige jusqu'à l'apex de la feuille.

LAG/F : Elle est mesurée horizontalement entre les deux extrémités latérales de la feuille, en traversant sa partie la plus large (Peksen, 2007).

Nbnerv/sec/D : Nombre de nervures secondaires présentes sur le côté droit de la feuille.

Nbnerv/sec/G : Nombre de nervures secondaires présentes sur le côté gauche de la feuille.

L/d1 : Longueur de la nervure secondaire droite N°1.

L/d2 : Longueur de la nervure secondaire droite N°2.

L/d3 : Longueur de la nervure secondaire droite N°3.

L/g1 : Longueur de la nervure secondaire gauche N°1.

L/g2 : Longueur de la nervure secondaire gauche N°2.

L/g3 : Longueur de la nervure secondaire gauche N°3.

Ang 1D : Il s'agit de la mesure de l'angle formé entre la première nervure secondaire droite (N°1) et la nervure principale.

Ang 1G : la mesure de l'angle formé entre la première nervure secondaire gauche (N°1) et la nervure principale.

Ang 2D : la mesure de l'angle formé entre la première nervure secondaire droite (N°2) et la nervure principale.

Ang 2G : la mesure de l'angle formé entre la première nervure secondaire gauche (N°2) et la nervure principale.

Ang 3D : la mesure de l'angle formé entre la première nervure secondaire droite (N°3) et la nervure principale.

Ang 3G : la mesure de l'angle formé entre la première nervure secondaire gauche (N°3) et la nervure principale.

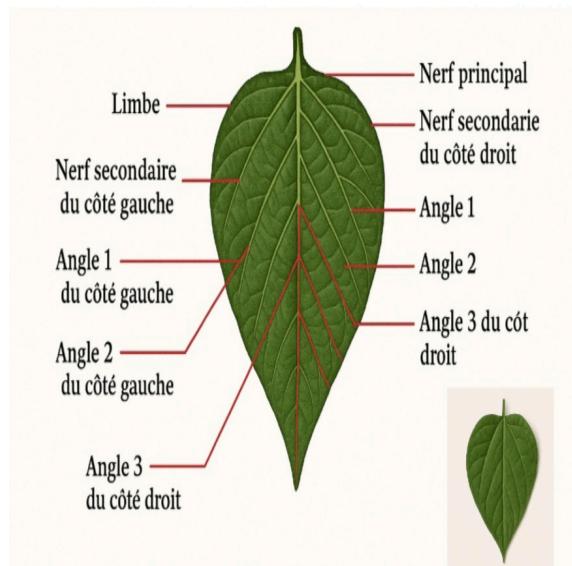


Figure 6. Schéma de la nervation typique de la feuille de fève (*Vicia faba*).

Chapitre 2

Résultats et discussion

1. Évaluation des caractères quantitatifs

1.1. L'analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) vise principalement à réduire la dimension d'un ensemble de données comprenant de nombreuses variables corrélées, tout en préservant au maximum l'information contenue dans ces données. Cette réduction s'effectue par la transformation des variables initiales en un nouveau jeu de variables, appelées composantes principales (CP), qui sont non corrélées entre elles et classées de façon à ce que les premières capturent l'essentiel de la variation des données d'origine. Ce chapitre introductif se compose de deux parties : la première expose la définition de l'ACP ainsi que la méthode classique de calcul des CP à partir des vecteurs propres d'une matrice de covariance, tandis que la seconde retrace brièvement l'historique du développement de cette méthode (**Jolliffe, 2002**).

1.1.1. Résultats d'ACP pour les caractères étudiés

L'analyse en composantes principales a été exposée en employant le cercle de corrélation, révélant les composantes F1 et F2 qui ont représenté 37,47% et 13,51 % de la variance, respectivement (Tableau 1).

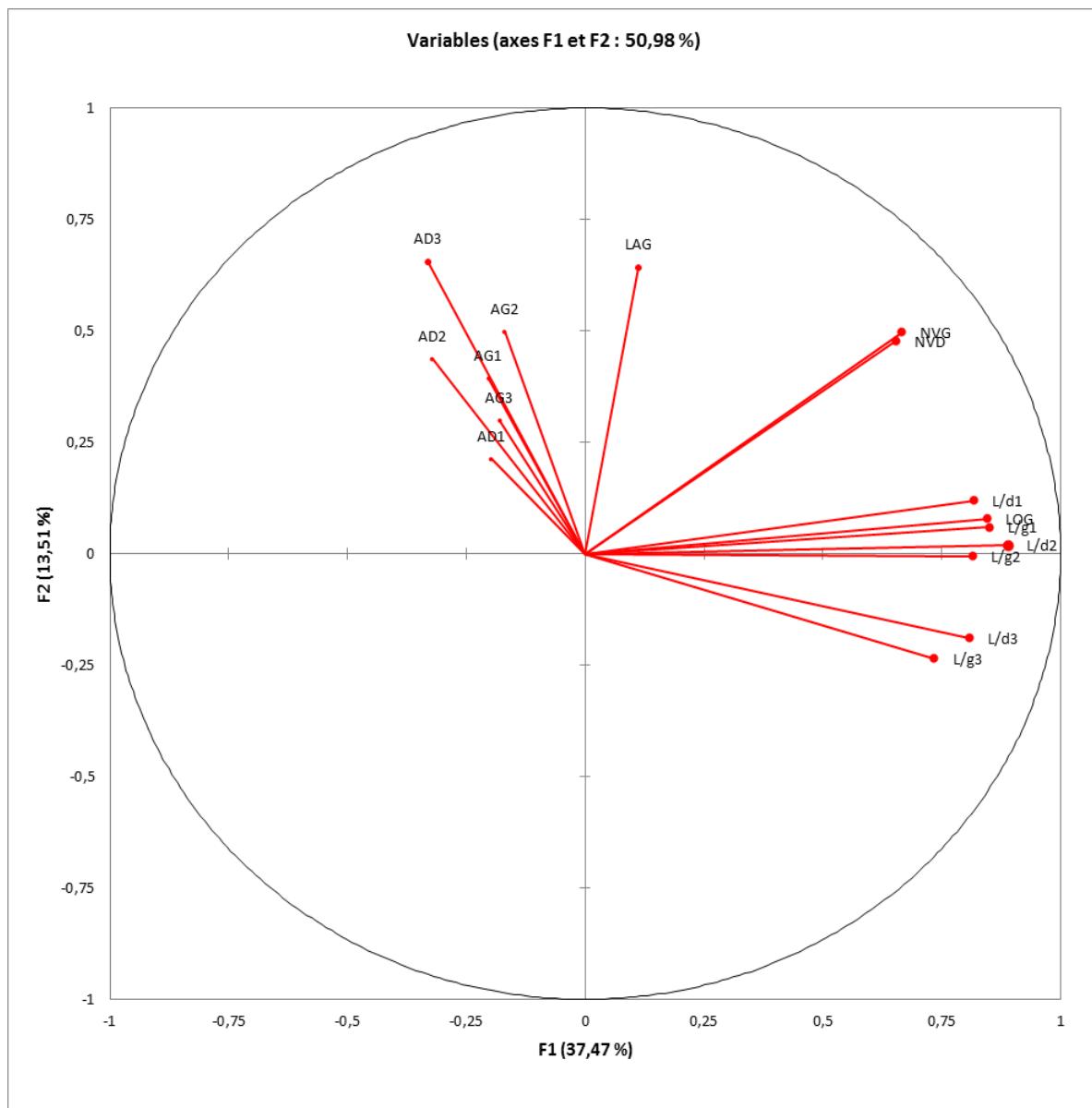
Tableau 1. Valeurs propres

	F1	F2
Valeur propre	5,996	2,161
Variabilité (%)	37,475	13,506
% cumulé	37,475	50,981

L'analyse du tableau des résultats révèle que les axes 1 et 2 expliquent ensemble 50,981 % de la variabilité totale. Cette proportion indique une différence notable entre les cultivars analysés.

La composante F1 explique 37,475 % de cette variabilité. Elle exprime les variables les plus influencées par les conditions de stress salin. La variance cumulée (50,981 %) est considérée comme suffisante pour révéler des différences morphologiques notables entre les feuilles de la fève sous l'effet de la salinité. Des résultats similaires ont été obtenus concernant la longueur de la plante et des racines chez *Acacia albida* (**Karoune et al., 2017**).

1.1.2. Cercle de corrélation



Le cercle représente la projection des variables dans l'espace bidimensionnel formé par F1 et F2, où :

- F1 explique une grande partie de la variance.

Figure 7. Cercle de la corrélation des variables quantitatifs (F1 et F2)

- F2 explique le reste de la variance.

Nous constatons que les variables LOG, L/d1, L/d2, L/d3, L/g1, L/g2, L/g3, NVG et NVD sont positivement corrélées entre elles. Elles sont bien représentées sur la première dimension, qui liée à l'effet de la salinité sur la feuille. Cela concorde avec les résultats de (**Belfakih et al., 2013**), qui montrent que la variation de la concentration en sel affecte les caractéristiques foliaires.

Quant aux variables AD1, AD2, AG1, AG2, AG3, leur représentation dans les deux premières dimensions est faible.

1.1.3. La matrice de corrélation

LOG/F: La longueur foliaire mesurée du point d'insertion du pétiole sur la tige jusqu'à l'apex de la feuille.

LAG/F: Elle est mesurée horizontalement entre les deux extrémités latérales de la feuille, en traversant sa partie la plus large.

Nbnerv/sec/D: Nombre de nervures secondaires présentes sur le côté droit de la feuille.

Nbnerv/sec/G: Nombre de nervures secondaires présentes sur le côté gauche de la feuille.

L/d1: Longueur la nervure secondaire droite N°1.

L/d2: Longueur la nervure secondaire droite N°2.

L/d3: Longueur la nervure secondaire droite N°3.

L/g1: Longueur la nervure secondaire gauche N°1.

L/g2: Longueur la nervure secondaire gauche N°2.

L/g3: Longueur la nervure secondaire gauche N°3.

Ang 1D : Il s'agit de la mesure de l'angle formé entre la première nervure secondaire droite (N°1) et la nervure principale.

Ang 1G: la mesure de l'angle formé entre la première nervure secondaire gauche (N°1) et la nervure principale.

Ang 2D: la mesure de l'angle formé entre la première nervure secondaire droite (N°2) et la nervure principale.

Ang 2G: la mesure de l'angle formé entre la première nervure secondaire gauche (N°2) et la nervure principale.

Ang 3D : la mesure de l'angle formé entre la première nervure secondaire droite (N°3) et la nervure principale.

Ang 3G: la mesure de l'angle formé entre la première nervure secondaire gauche (N°3) et la nervure principale.

Tableau 2. La matrice de corrélation

Variables	LOG	LAG	NVD	NVG	L/d1	L/d2	L/d3	L/g1	L/g2	L/g3	AD1	AD2	AD3	AG1	AG2	AG3
LOG	1	0,220	0,514	0,565	0,683	0,735	0,632	0,711	0,607	0,550	-0,172	-0,215	-0,225	-0,229	-0,110	-0,127
LAG	0,220	1	0,331	0,315	0,113	0,159	-0,032	0,007	0,027	-0,092	0,273	0,217	0,219	0,104	0,115	-0,086
NVD	0,514	0,331	1	0,804	0,521	0,545	0,368	0,494	0,445	0,306	-0,072	-0,118	0,067	-0,050	-0,010	-0,029
NVG	0,565	0,315	0,804	1	0,505	0,496	0,385	0,576	0,427	0,324	-0,187	-0,157	0,058	-0,009	0,116	0,036
L/d1	0,683	0,113	0,521	0,505	1	0,759	0,572	0,707	0,647	0,502	-0,155	-0,177	-0,128	-0,145	-0,100	-0,041
L/d2	0,735	0,159	0,545	0,496	0,759	1	0,750	0,718	0,696	0,596	-0,052	-0,268	-0,305	-0,125	-0,145	-0,144
L/d3	0,632	-0,032	0,368	0,385	0,572	0,750	1	0,620	0,634	0,724	-0,095	-0,158	-0,410	-0,1245	-0,150	-0,205
L/g1	0,711	0,007	0,494	0,576	0,707	0,718	0,620	1	0,756	0,521	-0,149	-0,275	-0,117	-0,168	-0,111	-0,055
L/g2	0,607	0,027	0,445	0,427	0,647	0,696	0,634	0,756	1	0,650	-0,120	-0,141	-0,258	-0,042	-0,112	-0,105
L/g3	0,550	-0,092	0,306	0,324	0,502	0,596	0,724	0,521	0,650	1	-0,139	-0,217	-0,406	-0,052	-0,095	-0,227
AD1	0,172	0,273	-0,072	-0,187	-0,155	-0,052	-0,095	-0,149	-0,120	-0,139	1	0,283	0,069	0,106	0,001	-0,071
AD2	0,215	0,217	-0,118	-0,157	-0,177	-0,268	-0,158	-0,275	-0,141	-0,217	0,283	1	0,260	0,231	0,281	0,066
AD3	0,225	0,219	0,067	0,058	-0,128	-0,305	-0,410	-0,117	-0,258	-0,406	0,069	0,260	1	0,167	0,202	0,452
AG1	0,229	0,104	-0,050	-0,009	-0,145	-0,125	-0,173	-0,168	-0,042	-0,052	0,106	0,231	0,167	1	0,399	-0,036
AG2	0,110	0,115	-0,010	0,116	-0,100	-0,145	-0,150	-0,111	-0,112	-0,095	0,001	0,281	0,202	0,399	1	0,062
AG3	0,127	-0,086	-0,029	0,036	-0,041	-0,144	-0,205	-0,055	-0,105	-0,227	-0,071	0,066	0,452	-0,036	0,062	1

Dans la matrice de corrélation (Tableau 2), une corrélation positive croissante entre plusieurs caractères morphologiques des feuilles de fèves (*Vicia faba*) (forte corrélation) est observée, Les caractéristiques qui présentent des corrélations positives fortes sont les suivantes :

- Une forte corrélation avec les longueurs des nervures :

L/d1 et L/d2 (0 ,759)

L/d1 et L/g1 (0,707)

L/d2 et L/d3 (0,750)

L/d2 et L/g1 (0,718)

L/d3 et L/g3 (0 ,724)

L/g1 et L/g2(0.756)

- La relation de la longueur avec les longueurs des nervures :

Log et L/d1 (0,683)

Log et L/d2 (0,735)

Log et L/d3 (0,632)

Log et L/g1 (0.711)

Log et L/g2 (0,607)

NVD et NVG (0 ,804)

La corrélation élevée entre Log (longueur de la feuille) et L/d2 ($r = 0,735$) et (NVD et NVG : $r = 0,804$), montre que plus la feuille est longue, plus les nervures secondaires sont développées.

De même, les corrélations significatives entre les différentes nervures des deux côtés (comme L/d2 et L/g1 : $r = 0,718$) et (L/d1 et L/d2 : $r = 0 ,759$) traduisent une symétrie dans la structure foliaire, ce qui est courant chez les plantes dicotylédones telles que la fève.

Ces résultats sont cohérents avec des travaux antérieurs montrant que le stress salin affecte de manière coordonnée la morphologie des feuilles, notamment la taille et le développement vasculaire (**Munns et Tester, 2008**).

1.1.4. Étude des paramètres

Pour sélectionner les meilleurs cultivars, nous avons retenu les valeurs les plus élevées dans le tableau des cosinus carres des variables.

Tableau 3. Cosinus carrés des variables

	F1	F2
LOG	0,717	0,006
LAG	0,013	0,412
NVD	0,429	0,228
NVG	0,443	0,247
L/d1	0,669	0,014
L/d2	0,791	0,000
L/d3	0,655	0,036
L/g1	0,723	0,004
L/g2	0,665	0,000
L/g3	0,539	0,055
AD1	0,039	0,045
AD2	0,103	0,192
AD3	0,109	0,429
AG1	0,042	0,155
AG2	0,029	0,249
AG3	0,032	0,089

Le tableau représente les cosinus carrés des variables issus de l'analyse en composantes principales, selon les deux premières dimensions (F1 et F2) :

- L'axe principal F1 : regroupe les variables qui contribuent fortement à cet axe

LOG(0.717), L/d1(0.669)

L/d2(0.791), L/d3(0.655)

L/g1(0.723), L/g2(0.665)

L/g3(0.539)

- L'axe F2 : regroupe les variables importantes suivantes :

LAG (0.412), AD3 (0.429), AG2(0.249)

Selon le document, F1 explique la plus grande part de la variance des données, ce qui reflète un effet majeur de la salinité, se manifestant directement sur la longueur de la feuille ainsi que sur les longueurs des nervures droite et gauche de la feuille.

Quant à l'axe F2, les effets ont concerné la largeur et angle 3 du côté droit de la feuille, ainsi que l'angle 2 du côté gauche.

Ces résultats indiquent que le plus grand impact de la salinité se manifeste au niveau de la surface foliaire, ce qui est en accord avec les travaux de **Saidi (2005)**. Tandis que l'effet sur les angles est moins prononcé.

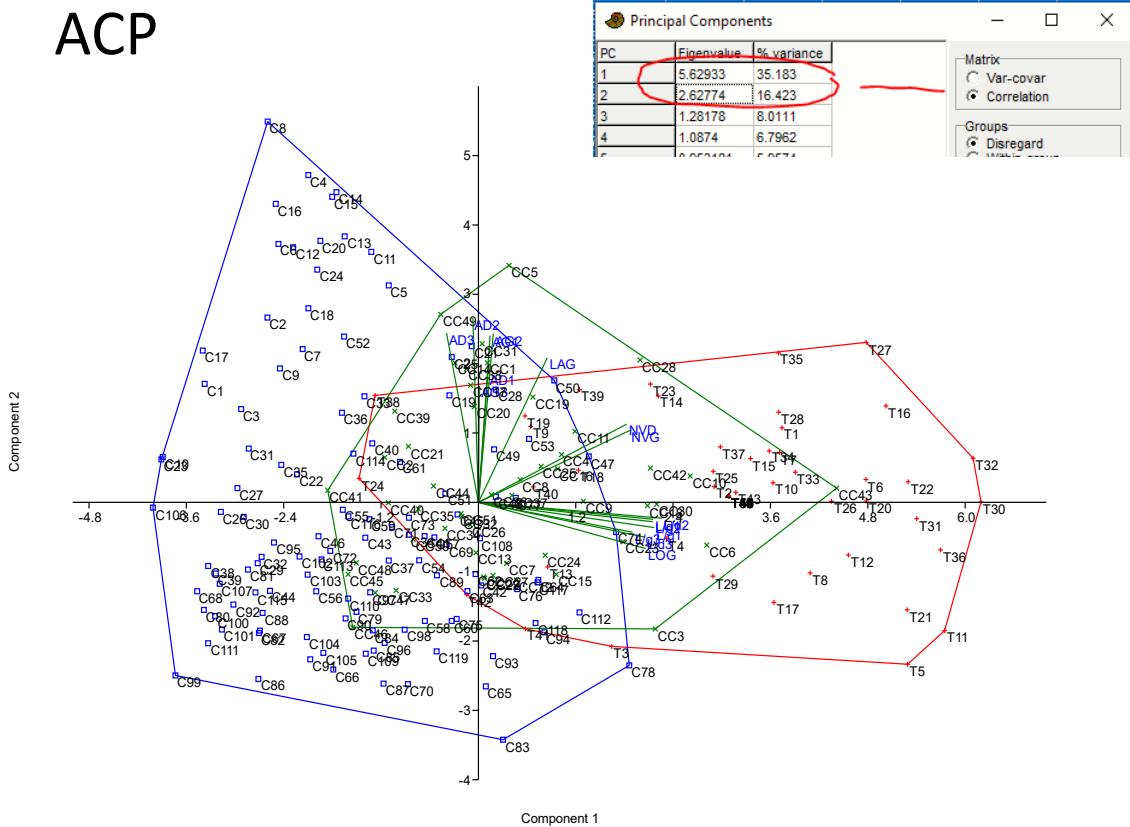


Figure 8. Analyse en composantes principales pour la distribution des groupes selon les variables

L'figure présentée est un diagramme bidimensionnel où les points rouges, bleus et verts représentent les échantillons, et les couleurs indiquent différents niveaux de salinité. Le rouge représente le groupe témoin, le bleu un niveau moyen de salinité, et le vert le niveau le plus élevé. À travers l'image, on observe que chaque échantillon forme un regroupement dans une zone distincte des autres échantillons en raison de la variation du stress salin, ce qui est en accord avec (Tian *et al.*, 2021).

Le résultat de **Filipovic et al. (2022)** indiqué qu'une augmentation de la salinité de l'eau entraîne une diminution des caractéristiques morphologiques et biochimiques.

En ce qui concerne la proximité de l'échantillon témoin avec l'échantillon à haute concentration, cela peut être expliqué par plusieurs interprétations à partir d'autres études différentes, notamment celle de **Munns et Gillham (2015)**, qui indique que certaines plantes montrent une réponse adaptative avec une exposition continue à la salinité, récupérant ainsi leurs fonctions morphologiques et physiologiques malgré la persistance de la salinité.

La proline joue également un rôle important, selon **Ashraf et Foolad (2007)**, qui indique que la proline est proportionnelle à la capacité de la plante à résister au stress, et cela est considéré comme un indicateur important de l'adaptation osmotique.

1.2. L'analyse de la variance

En commençant par « LOG/LAG », une analyse de la variance a été effectuée afin d'évaluer l'effet des traitements sur le rapport longueur/largeur des feuilles de fèves (*vicia faba L.*), et pour identifier les effets significatifs entre les différentes conditions expérimentales.

1.2.1. L'analyse de la variance « LOG/LAG »

L'analyse de la variance (ANOVA) pour le facteur «LOG /LAG » révèle une signification statistique extrêmement élevée, avec une valeur de p inférieure à 0,0001 (tableau 4).

Cette très faible p-valeur confirme l'existence de différences hautement significatives entre les groupes. Le modèle présente une valeur F de 38,731, indiquant un effet très net du facteur étudié sur la variable. Ces résultats témoignent d'un impact significatif des traitements sur cette variable morphologique.

Tableau 4. Analyse de la variance « LOG/LAG »

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	216,752	108,376	38,731	< 0,0001
Erreur	218	610,005	2,798		
Total corrigé	220	826,75			

Les statistiques descriptives confirment l'appartenance des traitements à des groupes statistiques distincts (groupe A pour T1, et le groupe B pour C1 et C2) (Tableau 5), ce qui renforce la validité des différences observées et atteste que le stress salin induit des modifications foliaires significatives.

Tableau 5. Analyse des différences entre les modalités (Bonferroni) "LOG/LAG "

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes	
T1	12,270	0,234	11,809	12,732	A	
C1	10,078	0,153	9,776	10,380		B
C2	9,663	0,234	9,201	10,125		B

La synthèse des comparaisons multiples montre des différences statistiquement très significatives ($P < 0,0001$) entre le témoin (T1) et les deux traitements salins (C1 et C2) concernant le rapport longueur/largeur des feuilles de fève (*vicia faba*) (Tableau 6). En revanche, la comparaison entre les deux niveaux de salinité (C1 et C2) n'a pas mis en évidence de différence significative ($P = 0,140 > 0,05$).

Tableau 6. Niveau de signification corrigé

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
T1 vs C2	2,608	7,872	2,413	< 0,0001	Oui
T1 vs C1	2,192	7,831	2,413	< 0,0001	Oui
C1 vs C2	0,415	1,483	2,413	0,140	Non

En comparaison, l'analyse de la variance (ANOVA) réalisée sur des plantes halophytes *Suaeda aralocaspica* (Cao et al., 2015), a également été mise en évidence une différence fortement significative ($P < 0,0001$) concernant le rapport LOG/LAG. Cette significativité statistique indique que les variations observées entre les différents cultivars ne sont probablement pas dues au hasard, mais reflètent plutôt des disparités d'origine génétique ou environnemental influençant la morphologie foliaire.

1.2.2. L'analyse de la variance « Ld1/Lg1 »

L'analyse de la variance (ANOVA) pour «Ld1/Lg1» révèle un effet hautement significatif du traitement étudié. En effet, le modèle statistique présente une valeur de F élevée ($F = 116,384$), associée à une probabilité ($p < 0,0001$) (tableau 7), ce qui indiquant que les différences observées entre les groupes ne sont pas dues au hasard.

Tableau 7. Analyse de la variance « Ld1/Lg1 »

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	496,016	248,008	116,384	< 0,0001
Erreur	218	464,548	2,131		
Total corrigé	220	960,564			

L'attribution de chaque traitement à un groupe statistique distinct (A, B, C) (tableau 8) confirme l'existence d'un effet significatif et différencié de la salinité sur la croissance.

Tableau 8. Analyse des différences entre les modalités (Bonferroni) «Ld1/Lg1 »

Moyennes estimées	Erreurs standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes		
11,080	0,204	10,677	11,483	A		
8,520	0,204	8,117	8,923		B	
7,353	0,134	7,089	7,617			C

Ces observations indiquent que les conditions idéales (T1) (tableau 9) ont favorisé une croissance maximale, tandis que les traitements à base de sel (C1 et C2) ont provoqué une réduction progressive de la croissance.

L'analyse des comparaisons multiples a révélé des différences hautement significatives ($p < 0,0001$) entre les trois traitements (T1, C1, C2) concernant la « Ld1/Lg1 ».

Tableau 9. Niveau de signification corrigé

Contre	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
T1 vs C1	3,727	15,255	2,413	< 0,0001	Oui
T1 vs C2	2,560	8,856	2,413	< 0,0001	Oui
C2 vs C1	1,167	4,777	2,413	< 0,0001	Oui

En comparaison avec ces données, les résultats des plantes sugar Beet (*beta vulgaris L*) (Aycan *et al.*, 2023), ont montré que les modifications observées au niveau de la surface foliaire et de l'allongement des feuilles étaient hautement statistiquement significatives ($p < 0,0001$). Ces altérations se sont traduites par un rétrécissement marqué et une diminution de la taille des feuilles, traduisant un impact manifeste du stress salin sur les dimensions morphologiques, notamment sur la "Ld1/Lg1", qui a également connu une réduction significative.

1.2.3. L'analyse de la variance « Ld2/Lg2 »

L'analyse de la variance (ANOVA) pour « Ld2/Lg2 » met en évidence une significativité statistique extrêmement élevée, avec une valeur de p inférieure à 0,0001 (tableau 10). Cette valeur p indique qu'il y a des différences significatives entre les groupes. Le modèle explique une part importante de la variance observée, avec une valeur F de 110,436.

Tableau 10. Analyse de la variance »Ld2/Lg2 »

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	375,015	187,508	110,436	< 0,0001
Erreur	218	370,139	1,698		
Total corrigé	220	745,155			

Chaque traitement appartient à un groupe statistique distinct (A, B, C) (tableau 11), indiquant des différences significatives entre eux. Cette séparation statistique renforce l'idée que la variable étudiée est fortement affectée par la salinité, en particulier aux concentrations élevées.

Tableau 11. Analyse des différences entre les modalités (Bonferroni) »Ld2/Lg2 »

Modalité	Moyennes estimées	Erreurs standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes		
T1	9,238	0,182	8,879	9,598	A		
C2	7,369	0,182	7,009	7,728		B	
C1	6,022	0,119	5,787	6,257			C

Le test de Bonferroni (Tableau 12) révèle des différences hautement significatives entre les trois traitements appliqués (T1, C2, C1), avec des valeurs de p inférieures à 0,0001 dans toutes les comparaisons.

Tableau 12. Niveau de signification corrigé

Contraste	Déférence	Déférence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
T1 vs C1	3,216	14,748	2,413	< 0,0001	Oui
T1 vs C2	1,870	7,246	2,413	< 0,0001	Oui
C2 vs C1	1,347	6,175	2,413	< 0,0001	Oui

D'un autre côté, les résultats de l'analyse de variance (ANOVA) pour les caractéristiques des feuilles de plantes Sugar Beet (**Aycan et al., 2023**), observées sur les feuilles étaient hautement statistiquement significatives ($p < 0,0001$), Cela traduit un impact manifeste du stress salin sur les dimensions morphologiques, notamment sur la « Ld2/Lg2 », qui a également connu une réduction significative.

1.2.4. L'analyse de la variance « Ld3/Lg3 »

L'ANOVA pour « Ld3/Lg3 » révèle une signification statistique très forte, présentant une valeur p extrêmement basse ($p < 0,0001$) (tableau 13). La valeur F élevée (119,640) indique que les différences observées entre les groupes sont hautement significatives, ce qui suggère que la variation dans « Ld3/Lg3 » est fortement conditionnée par les traitements appliqués.

Tableau 13. Analyse de la variance « Ld3/Lg3 »

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	229,247	114,623	119,640	< 0,0001
Erreur	218	208,859	0,958		
Total corrigé	220	438,106			

Les groupes statistiques formés sur la base des moyennes estimées confirment ces observations : T1 et C2 sont regroupés sous le groupe A, alors que C1 est classé seul dans le groupe B (tableau 14) mettant en évidence une distinction claire entre les effets de la concentration élevée et ceux des deux autres traitements.

Tableau 14. Analyse des différence entre la modalité (Bonferroni) « Ld3/Lg3 »

Modalité	Moyennes estimées	Erreurs standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes	
T1	7,078	0,137	6,808	7,348	A	
C2	6,675	0,137	6,405	6,945	A	
C1	4,852	0,090	4,675	5,029		B

L’analyse des comparaisons multiples montre des différences significatives entre les modalités de traitement appliquées à « Ld3/Lg3 » (tableau 15). La comparaison T1 et C1 indique une différence hautement significative ($p < 0,0001$; différence = 2,226), ce qui reflète un impact fortement inhibiteur du stress salin sévère sur l’évolution des « Ld3/Lg3 », Il est aussi significatif de noter la différence entre C2 et C1 ($p < 0,0001$), En revanche, la comparaison entre T1 et C2 n’est pas significative.

Tableau 15. Niveau de signification corrigé

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
T1 vs C1	2,226	13,589	2,413	< 0,0001	Oui
T1 vs C2	0,403	2,081	2,413	0,039	Non
C2 vs C1	1,823	11,127	2,413	< 0,0001	Oui

1.2.5. L’analyse de la variance « AD2/AG2»

La valeur de probabilité associée (Pr > F) de 0,015 (tableau 16), inférieure au seuil habituel de 0,05, indique une signification statistique pour le modèle dans l’analyse de la variance (ANOVA) de AD2/AG2. Cette valeur indique que les différences observées entre les groupes ne sont probablement pas dues au hasard, mais plutôt le résultat des traitements salins administrés.

Tableau 16. Analyse de la variance « AD2/AG2 »

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	143,833	71,916	4,283	0,015
Erreur	218	3660,177	16,790		
Total corrigé	220	3804,010			

Statistiquement parlant, l’attribution des groupes indique que C2 appartient uniquement au groupe A, ce qui signifie qu’il est significativement différent de C1 (groupe B) (Tableau 17), alors que T1 se situe entre les deux (groupes A et B), sans distinction significative évidente avec aucun d’eux.

Tableau 17. Analyse des différence entre les modalités (Bonferroni) « AD2/AG2 »

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes	
C2	26,256	0,574	5,125	27,387	A	
T1	24,713	0,574	23,582	25,844	A	B
C1	24,254	0,376	23,514	24,994		B

Le test de Bonferroni pour (AD2/AG2) révèlent une distinction notable entre les traitements C2 et C1, avec un *p*-value de 0,004 (< 0,05) (tableau18). Cela signifie que l'augmentation du niveau de salinité entraîne un effet mesurable défavorable sur la variable analysée. Par contre, aucune différence significative n'a été observée entre C2 et T1 (témoin) (*p* = 0,059) ni entre T1 et C1 (*p* = 0,504).

Tableau 18. Niveau de signification corrigé

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
C2 vs C1	2,002	2,919	2,413	0,004	Oui
C2 vs T1	1,543	1,901	2,413	0,059	Non
T1 vs C1	0,459	0,669	2,413	0,504	Non

Cela indique que la salinité moyenne (C1) ne semble pas avoir d'impact significatif comparé au groupe témoin, ce qui pourrait indiquer une capacité d'adaptation ou de tolérance du végétal à des niveaux modérés de stress salin. Toutefois, lorsque la concentration en sel atteint un niveau élevé (C2), cette capacité d'adaptation semble dépassée, et les impacts négatifs deviennent alors statistiquement significatifs.

Par rapport aux mesures de l'angle des feuilles (Falster *et al.*, 2003), les résultats de différences significatives entre les sites pour les moyennes cosinus.

1.2.6. L'analyse de la variance « AD3/AG3»

L'analyse de la variance (ANOVA) pour (AD3/AG3) révèle un manque significativité statistique, avec une valeur p de 0,095(Tableau 19) supérieure au seuil de signification habituel de 0,05 a valeur F déterminé, qui est de 2,379 indique que les différences observées entre les groupes ne sont pas suffisamment marquées pour être considérées comme statistiquement significatives.

Tableau 19. Analyse de la variance « AD3/AG3 »

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	52,441	26,221	2,379	0,095
Erreur	218	2402,929	11,023		
Total corrigé	220	2455,370			

Les analyses de groupes statistiques (groupe A pour toutes les modalités) (Tableau 20), confirment l'absence de séparation significative entre les traitements. Les moyennes présumées varient entre 25,217 et 26,250, montrant variation morphologique minimale et non significative dans les conditions expérimentales testées.

Tableau 20. Analyse de différence entre les modalité (Bonferroni) « AD3/AG3 »

Modalité	Moyennes estimées	Erreurs standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
C2	26,250	0,465	25,334	27,166	A
T1	26,132	0,465	25,216	27,048	A
C1	25,217	0,304	24,617	25,817	A

Selon le test de Bonferroni, les traitements T1, C1 et C2 (Tableau 21) n'ont pas produit de différences statistiquement significatives au niveau de l'AD3/AG3. En effet, toutes les comparaisons entre les modalités ont donné des valeurs de p supérieures au seuil significatif corrigé (2,413).

Tableau 21. Niveau de signification corrigé

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
C2 vs C1	1,033	1,859	2,413	0,064	Non
C2 vs T1	0,118	0,180	2,413	0,857	Non
T1 vs C1	0,915	1,646	2,413	0,101	Non

En comparaison, les résultats concernant l'angles des feuilles rapportés par **Jiang *et al.* (2025)** ne montrent pas de variations significatives. Cette analyse contraste avec les résultats de l'ANOVA effectuée sur les feuilles de fève (*vicia faba*), où des différences significatives ont été observées, suggérant que les facteurs environnementaux pourraient influencer la morphologie foliaire.

2. Évaluation des caractères qualitatifs

2.1. Évaluation des caractères La couleur de la feuille

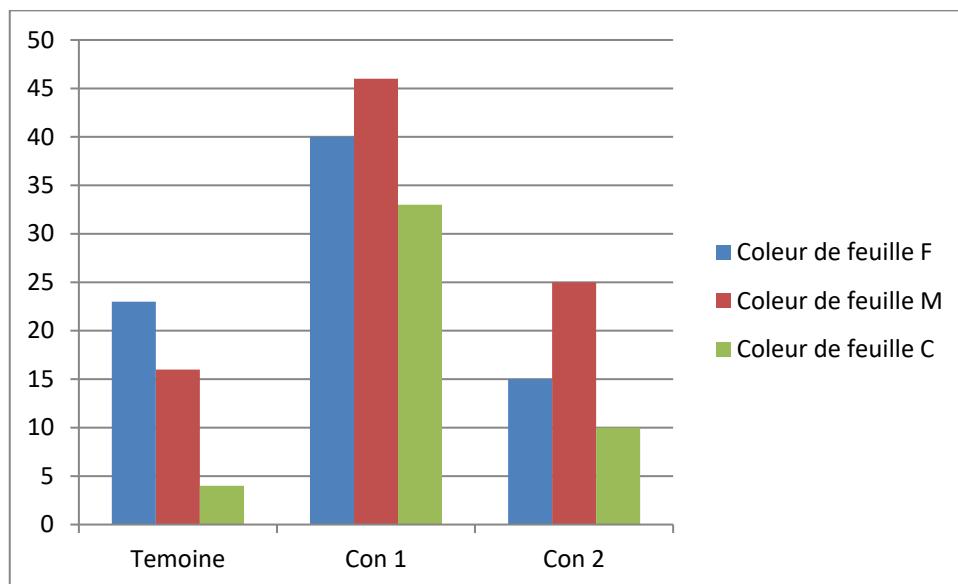


Figure 9. Des histogrammes des variations de la couleur de la feuille sous différentes concentrations de salinité.

Les histogrammes représentent les changements morphologiques des feuilles de fève sous l'effet de la salinité (Figure 9).

- **Échantillon témoin :** le plus grand nombre de feuilles présentait une couleur vert foncé, suivies du vert moyen, tandis que les feuilles de couleur claire étaient rares.
- **Concentration 1 et concentration 2 :** les variations de couleur des feuilles étaient relativement proches, la couleur vert moyen étant la plus fréquente. Toutefois, on note une augmentation du nombre de feuilles de couleur claire par rapport à l'échantillon témoin, selon une étude d'**Abdul Qados (2010)**.

2.2. Évaluation des caractères La tache noire

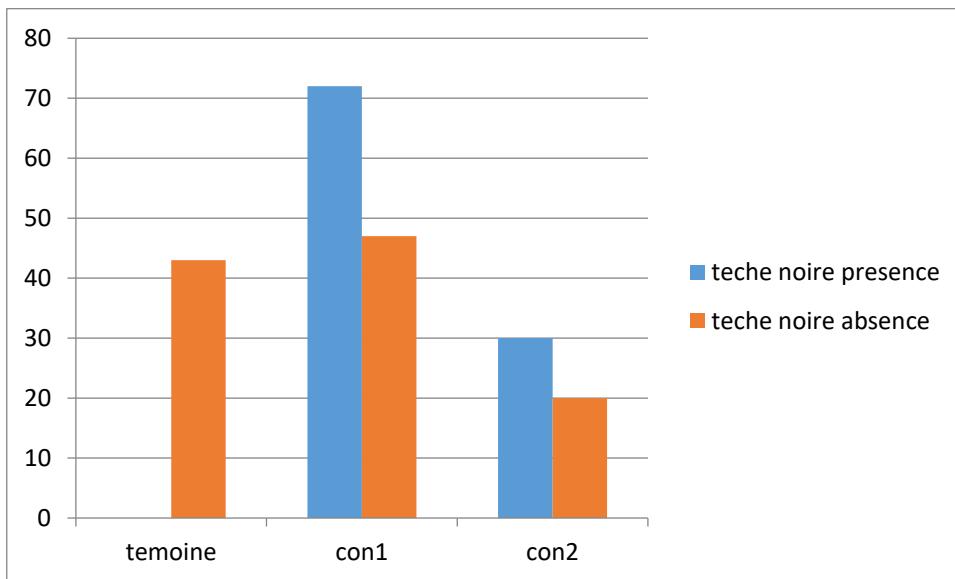


Figure 10. Des histogrammes de l’ présence et de l’absence de tache noirs sur de fève sous différentes concentration de salinité.

Les histogrammes illustrent la présence et de l’absence de tache noirs sur de fève sous différentes concentration de salinité :

- **Échantillon témoin:** aucune tache noire n’a été enregistrée au niveau des feuilles, ce qui est dû à la disponibilité des conditions favorables à la croissance de la plante (Figure 11).
- **Concentrations 1 et 2 :** la présence de tache noire a été enregistrée au niveau des feuilles en quantités considérables. Toutefois, pour la première concentration, leur nombre était plus élevé par rapport à la deuxième concentration, ce qui s’explique par une différence dans le nombre de feuilles étudiées, un plus grand nombre de feuilles ayant été utilisé pour la première concentration, soit 119 feuilles.

L’apparition de ces marques est due à un stress oxydatif provoqué par la salinité, ce qui cause des lésions aux cellules foliaires, en particulier aux membranes et chloroplastes, et se manifeste visuellement par des taches de couleur brune à noire sur les feuilles (**Motos et al., 2017**)

2.3. Évaluation des caractères La taille tache noire

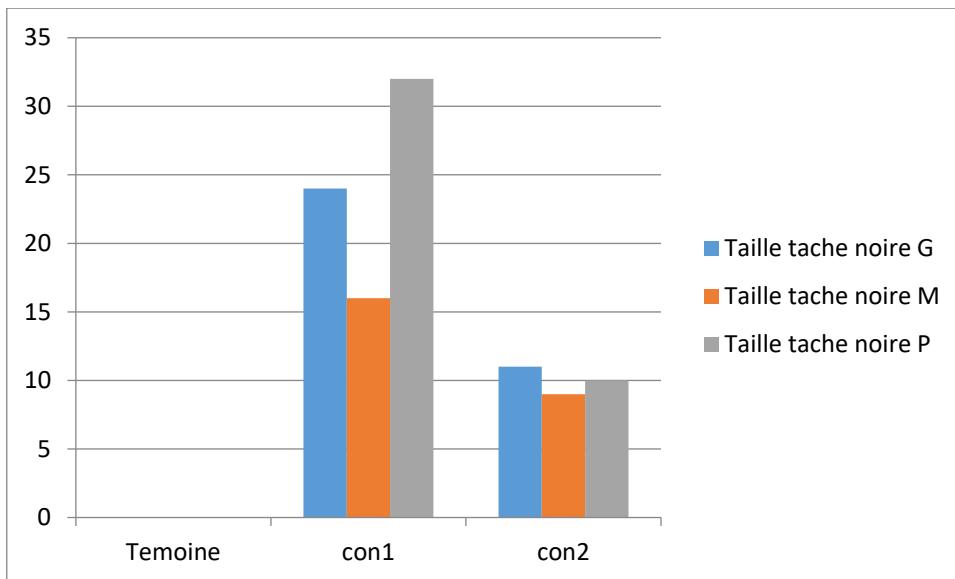


Figure 12. Des histogrammes de la variation de la taille des points noirs sur la feuille de fève sou différentes concentrations de salinité.

Le diagramme en barres présente la distribution des tailles des taches noires sur les feuilles de fève (Figure 11).

Pour la première concentration, nous avons observé une diversité dans les tailles des taches noires, avec une prédominance de la taille moyenne, répartie sur le plus grand nombre de feuilles, suivie par les tailles grande et petite.

En ce qui concerne la deuxième concentration, la grande taille des taches noires était la plus fréquente par rapport aux autres tailles, en raison de l'augmentation de la concentration en sel.

2.4. Évaluation des caractères La tache jaune

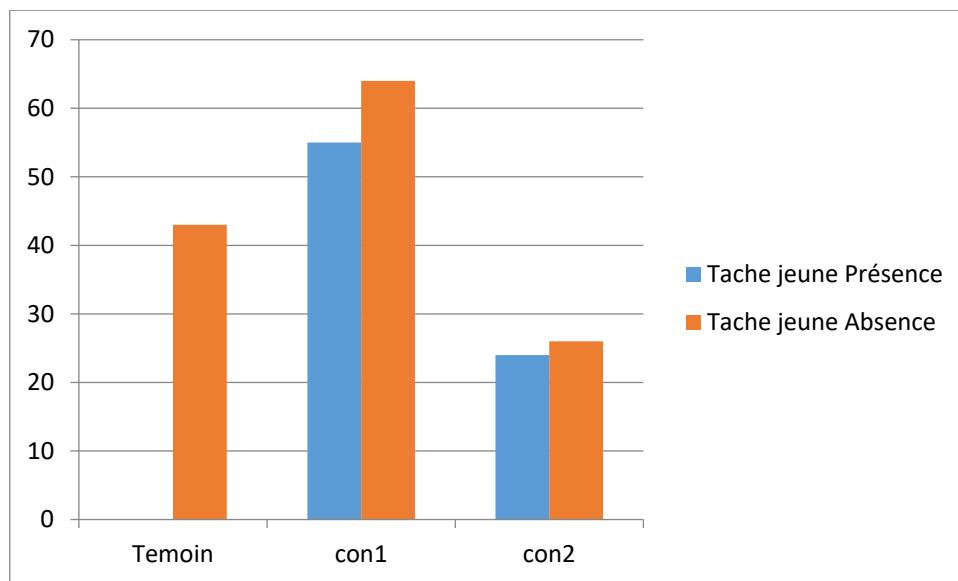


Figure 13. Des histogrammes de la présence et de l'absence de la tache jaune sur la feuille de fève sous différentes concentration de salinité.

Le diagramme à barres (Figure 12) montre la présence ou l'absence de taches jaunes sur la feuille de fève pour les trois échantillons soumis à différentes concentrations de salinité.

Dans l'échantillon témoin, aucune tache jaune n'a été observée sur aucune feuille. Pour la première concentration, c'est-à-dire la concentration modérée en sel, nous avons observé la présence de taches jaunes sur un grand nombre de feuilles. Cela s'applique également à la deuxième concentration, c'est-à-dire la concentration élevée en sel, ce qui indique qu'il y a eu des modifications au niveau de la feuille de fève. Ces modifications sont dues au stress salin subi par la plante (**Yu et al., 2019**).

2.5. Évaluation des caractères La taille de feuille

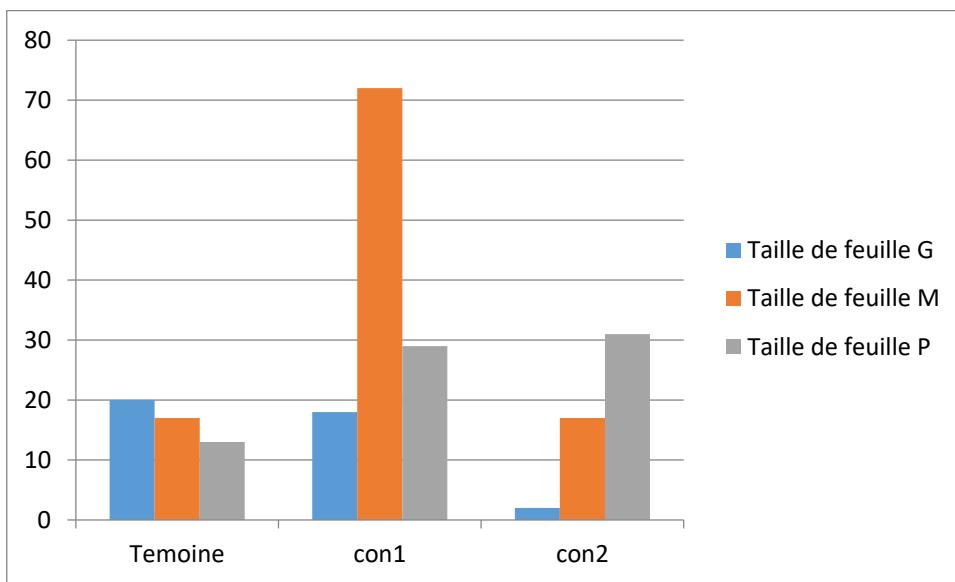


Figure 14. Colonnes graphiques des variations de la taille de la feuille de fève sous différentes concentrations de sel

La Figure (13) présente des diagrammes à colonnes illustrant la taille des feuilles de fève pour trois échantillons: un témoin, une concentration moyenne de sel et concentration élevée de sel.

Pour l'échantillon témoin, l'ordre suivant a été observé : le nombre de feuilles de grande taille est le plus élevé, suivi par les feuilles de taille moyenne ; un certain nombre de feuilles de petite taille a également été enregistré.

Concernant la première concentration, c'est-à-dire la concentration moyenne en sel, le nombre de feuilles de taille moyenne était élevé ; une quantité considérable de feuilles de petite taille a aussi été observée.

Quant à la deuxième concentration, c'est-à-dire la concentration élevée en sel, on constate une rareté des feuilles de grande taille, alors qu'un grand nombre de feuilles de petite et moyenne taille a été enregistré, ce qui indique un changement de la surface foliaire dû à la variation de la salinité (**Munns et Tester, 2008**).

Conclusion

Notre étude a porté sur l'effet de la salinité sur la morphologie des feuilles de fève, en mettant en lumière les conséquences du stress salin sur une culture considérée comme essentielle à l'échelle mondiale. À travers notre analyse des modifications morphologiques des feuilles induites par l'irrigation à l'eau salée, notre étude a révélé que la fève présente des changements notables dans la forme, la taille et la structure des feuilles sous des conditions élevées de stress salin.

Les résultats ont montré que les feuilles de fève subissent des modifications importantes au niveau des nervures droite et gauche, de la longueur et de la largeur, et des changements très légers au niveau des angles.

Dans cette étude, nous avons utilisé des analyses statistiques avancées telles que l'ANOVA et l'ACP pour identifier les différences significatives entre les feuilles traitées et non traitées à l'eau salée.

En intégrant ces résultats avec les connaissances et les études antérieures dans ce domaine, cette étude enrichit notre compréhension des mécanismes biologiques.

Les conclusions tirées de cette étude mettent en lumière les voies vers des pratiques agricoles plus durables et des variétés plus résistantes, ce qui est d'une grande importance pour renforcer la sécurité alimentaire et soutenir une agriculture adaptée aux défis environnementaux actuels.

Cette étude ouvre de nouvelles perspectives pour l'amélioration des stratégies de gestion de la salinité dans la culture de la fève.

Références

Bibliographiques

- Abobatta, W. F. (2020). Plant responses and tolerance to combined salt and drought stress. In M. Hasanuzzaman & M. Tanveer (Eds.), *Salt and drought stress tolerance in plants: Signaling networks and adaptive mechanisms* (pp. 17–52). Springer.
- Abdul Qados, A. M. S. (2011). Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant Vicia faba (L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10(1), 7–15.
- Acosta-Motos, J. R., Ortúñoz, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18.
- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206–216.
- Aycan, M., Erkilic, E. G., Ozgen, Y., Poyraz, I., & Yildiz, M. (2023). The response of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes at different ploidy levels to salt (NaCl) stress. *International Journal of Plant Biology*, 14(1), 199–217.
- Belfakih, M., Ibriz, M., & Zouahri, A. (2013). Effet de la salinité sur les paramètres morphophysiologiques de deux variétés de bananier (*Musa acuminata* L.). *Journal of Applied Biosciences*, 70, 5652–5662.
- Bouker, H. (2024). Effet du stress salin et des métaux lourds (cuivre et zinc) sur la fève (Vicia faba L.) (Thèse de doctorat, Université Abdelhamid Ben Badis de Mostaganem).
- Bsoul, E. Y., Othman, S. A., Al-Ghzawi, A. L., & Massadeh, M. I. (2023). Effect of silver nanoparticles on growth and physiological responses of spinach (*Spinacia oleracea* L.) under salt stress. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 16(1), 1–6.
- Cao, J., Lv, X. Y., Chen, L., Xing, J. J., & Lan, H. Y. (2015). Effects of salinity on the growth, physiology and relevant gene expression of an annual halophyte grown from heteromorphic seeds. *AoB Plants*, 7, plv112.
- Chartzoulakis, K., & Klapaki, G. (2000). Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 86(3), 247–260.
- Daliakopoulos, I. N., Tsanis, I. K., Koutroulis, A., Kourgialas, N. N., Varouchakis, A. E., Karatzas, G. P., & Ritsema, C. J. (2016). The threat of soil salinity: A European scale review. *Science of the Total Environment*, 573, 727–739.
- Elmaghalawy, R. N., & Abdelhakam, S. (2022). Light intensity and phenotypic response in two Vicia faba L. varieties. *CATRINA: The International Journal of Environmental Sciences*, 25(1), 75–82.
- Elsiddig, A. M. I., Zhou, G., Nimir, N. E. A., & Ali, A. Y. A. (2021). Effect of exogenous ascorbic acid on two sorghum varieties under different types of salt stress. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 82(1), 28–37.

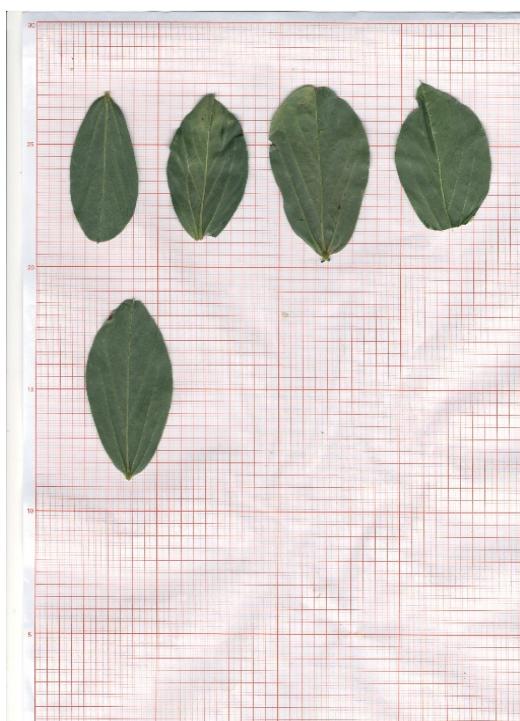
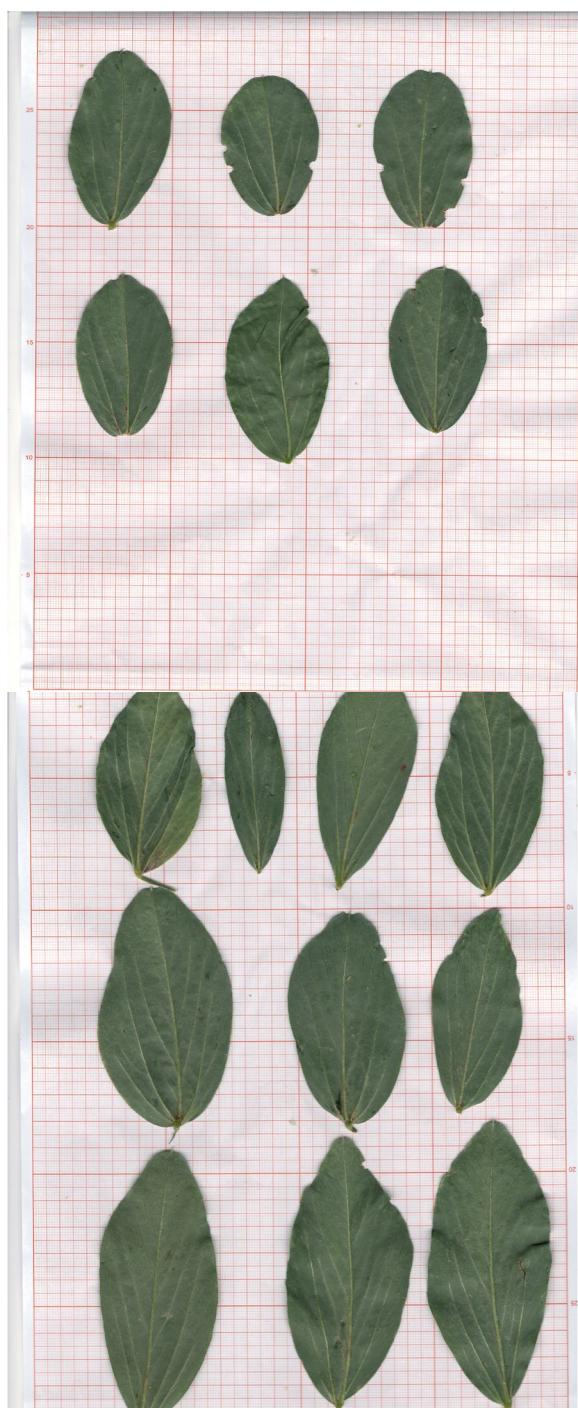
- Falster, D. S., & Westoby, M. (2003). Leaf size and angle vary widely across species: What consequences for light interception? *New Phytologist*, 158(3), 509–525.
- Filipovic, V., Vukovic, N., Bijelic, Z., Mrdic, S., Ilic, S., & Govendarica, M. (2022). Salinity stress and the influence of bioinoculants on the morphological and biochemical characteristics of faba bean (*Vicia faba* L.). *Sustainability*, 14(21), 14656.
- Ghoulam, C., Foursy, A., & Fares, K. (2001). Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 47(1), 39–50.
- Hannachi, R. R. (2019). Valorisation de la graine de fève sèche (*Vicia faba* L. major) en alimentation du lapin (Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou).
- Hopkins, W. G. (2003). *Physiologie végétale*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Supérieur.
- Hussein, M., Embiale, A., Husen, A., Aref, I. M., & Iqbal, M. (2017). Salinity-induced modulation of plant growth and photosynthetic parameters in faba bean (*Vicia faba*) cultivars. *Pakistan Journal of Botany*, 49(3), 867–877.
- Jiang, Q.-C., Jiang, Q.-D., Chen, L.-H., & Zhang, X.-F. (2025). Leaf venation angle: The physical origin and bio-inspired application. *AIP Advances*, 15, 035219.
- Jolliffe, I. T. (2002). *Principal component analysis* (2nd ed.). Springer.
- Karoune, S., Kechebar, M. S. A., Djellouli, A., & Rahmoune, C. (2017). Effet du stress salin sur la morphologie, la physiologie et la biochimie de l'*Acacia albida*. *Journal Algérien des Régions Arides*, 14, 60–73.
- Khan, A., Ihsan, M., Bibi, M., Rahim, G., Ullah, F., Khan, K., & Hazrat, A. (2023). Response of different concentration of salt stress on the morphological traits of maize (*Zea mays*). *Sarhad Journal of Agriculture*, 39(3), 672–677.
- Kpinkoun, J. K., Zanklan, S. A., Komlan, F. A., Mensah, A. C. G., Montcho, D., Kinsou, E., & Gandonou, C. B. (2019). Évaluation de la résistance à la salinité au stade jeune plant de quelques cultivars de piment (*Capsicum spp.*) du Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 133, 13561–13573.
- Levitt, J. (1980). *Responses of plants to environmental stress. Volume 1: Chilling, freezing, and high temperature stresses* (2nd ed.). Academic Press.
- Liu, X., Song, Y., Xing, F., Wang, N., Wen, F., & Zhu, C. (2016). GhWRKY25, a group I WRKY gene from cotton, confers differential tolerance to abiotic and biotic stresses in transgenic *Nicotiana benthamiana*. *Protoplasma*, 253(5), 1265–1281.
- Luu, D. T., Zhou, J., Hmidi, D., Madani, I., Houssein, Z., & Chmaiss, L. (2022). Tolérance des plantes à la salinité des sols. Dans *Société Nationale d'Horticulture de France* (Éds.), Colloque scientifique “L'eau et la plante” (pp. 47–53).

- Maalouf, F., Hu, J., O'Sullivan, D. M., Zong, X., Hamwieh, A., Kumar, S., & Baum, M. (2018). Breeding and genomics status in faba bean (*Vicia faba*). *Plant Breeding*, 138(4), 465–473.
- Mittler, R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science*, 11(1), 15–19.
- Munns, R., & Gillham, M. (2015). Salinity tolerance of crops – what is the cost? *New Phytologist*, 208(3), 668–673.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681.
- Oukaltouma, K., El Moukhtari, A., Lahrizi, Y., Mouradi, M., Farissi, M., Willems, A., Qaddoury, A., Bekkaoui, F., & Ghoulam, C. (2021). Phosphorus deficiency enhances water deficit impact on some morphological and physiological traits in four faba bean (*Vicia faba* L.) varieties. *Italian Journal of Agronomy*, 16(1), 1–13.
- Peksen, E. (2007). Non-destructive leaf area estimation model for faba bean (*Vicia faba* L.). *Scientia Horticulturae*, 113(4), 322–328.
- Semida, W. M., Taha, R. S., Abdelhamid, M. T., & Rady, M. M. (2014). Foliar-applied α -tocopherol enhances salt tolerance in *Vicia faba* L. plants grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 168, 285–293. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.01.029>
- Shahid, S. A., Zaman, M., & Heng, L. (2018). Chapter 1: Introduction to soil salinity, sodicity and diagnostics techniques. In *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques* (pp. 1–42). Springer.
- Shafiq-ul-Rehman, Harris, P. J. C., & Ashraf, M. (2005). Stress environments and their impact on crop production. In M. Ashraf & P. J. C. Harris (Eds.), *Abiotic stresses: Plant resistance through breeding and molecular approaches* (pp. 3–15). Food Products Press.
- Siddiqui, M. H., Al-Khaishany, M. Y., Al-Qutami, M. A., Al-Whaibi, M. H., Grover, A., Ali, H. M., & Al-Wahibi, M. S. (2015). Morphological and physiological characterization of different genotypes of faba bean under heat stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(5), 656–663.
- Singh, B. K., Gupta, A., & Singh, L. (2012). Improvement of faba bean (*Vicia faba* L.). ICAR Research Complex for Eastern Region, Patna, India.
- Srivastava, P., Wu, Q.-S., & Giri, B. (2019). Salinity: An overview. In B. Giri, Q.-S. Wu, V. Varma, & A. Kumar (Eds.), *Microorganisms in saline environments: Strategies and functions* (Vol. 56, pp. 1–16). Springer.

- Street, K., Ismail, A., & Rukhkyan, N. (2008). Directives pour la régénération : fève. In M. E. Dulloo, I. Thormann, M. A. Jorge, & J. Hanson (Éds.), *Directives spécifiques de régénération des cultures* [CD-ROM]. Programme du Système mondial sur les ressources phytogénétiques (SGRP) du CGIAR, Rome, Italie.
- Tian, Y., Xie, L., Wu, M., Yang, B., Ishimwe, C., Ye, D., & Weng, H. (2021). Multicolor fluorescence imaging for the early detection of salt stress in *Arabidopsis*. *Agronomy*, 11(12), 2577.
- Umar, O. B., Ranti, L. A., Abdulkaki, A. S., Bola, A. L., Abdulhamid, A. K., Biola, M. R., & Victor, K. O. (2021). Stresses in plants: Biotic and abiotic. In M.-u.-R. Ansari (Ed.), *Current Trends in Wheat Research* (pp. 1–15). IntechOpen.
- Yahia, Y., Loumerem, M., Yahia, H., Ferchichi, A., & Nagaz, K. (2017). Variabilité morphologique et qualité nutritionnelle des lignées de fève (*Vicia faba* L.) sélectionnées à l'IRA de Médenine. *Revue des Régions Arides*, (43), Numéro spécial – Actes du 5^{ème} Meeting International sur l'Aridoculture et les Cultures Oasiennes, 19–21 décembre 2016.
- Yao, X.-C., Meng, L.-F., Zhao, W.-L., & Mao, G.-L. (2023). Changes in the morphology traits, anatomical structure of the leaves and transcriptome in *Lycium barbarum* L. under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1090366.
- Yu, X., Shi, P., Hui, C., Miao, L., Liu, C., Zhang, Q., & Feng, C. (2019). Effects of salt stress on the leaf shape and scaling of *Pyrus betulifolia* Bunge. *Symmetry*, 11(8), 991.

Annexes

Annexe 1. Échenillage des feuilles traité par eau normale



Annexe 2. Échenillage des feuilles traité par eau saline (60mM Na Cl)



Annexe3. Échenillage des feuilles traité par eau saline (120 mM) Na Cl



Résumé

Cette étude vise à évaluer l'effet du stress salin sur les plants de fèves en menant une expérience dans laquelle différentes concentrations de sel ont été appliquées aux plants, où les observations ont été enregistrées et analysées en utilisant l'analyse de variance et l'analyse en composantes principales, qui ont permis l'identification des variables les plus affectées par le stress salin à travers la distribution globale des traitements dans l'espace multidimensionnel. Les résultats ont révélé un effet clair du stress salin sur certains paramètres morphologiques tels que la largeur, la longueur de la feuille et la longueur de la feuille principale droite et gauche, et ces changements ont suivi proportionnellement l'augmentation de la concentration en sel. Quant aux angles des nervures gauche et droite, aucun changement n'a été observé, ce qui indique que les angles sont moins affectés par le stress salin. Des changements externes ont également été observés dans l'apparence de la surface des feuilles, tels que l'apparition de taches noires, le jaunissement et la décoloration de la feuille. Enfin, cette étude met en évidence l'efficacité des procédures statistiques avancées dans l'exploration des réponses complexes des caractéristiques morphologiques des feuilles au stress salin et ces résultats sont essentiels pour orienter les pratiques agricoles vers la durabilité et la productivité.

Mots-clé: stresse salin, féve (*vicia faba.L*), ANOVA, ACP, morphologie

Abstract

This study aims to assess the effect of salt stress on bean plants by conducting an experiment in which different salt concentrations were applied to the plants, where observations were recorded and analyzed using analysis of variance and principal component analysis, which enabled the identification of the variables most affected by salt stress through the overall distribution of treatments in multidimensional space. The results revealed a clear effect of salt stress on morphological parameters such as leaf width, leaf length and the length of the right and left main leaf, and these changes followed proportionally the increase in salt concentration. As for the angles of the left and right veins, no changes were observed, indicating that the angles are less affected by salt stress. External changes were also observed in leaf surface appearance, such as the appearance of black spots, yellowing and leaf discoloration. Finally, this study highlights the effectiveness of advanced statistical procedures in exploring the complex responses of leaf morphological characteristics to salt stress, and these results are essential for guiding agricultural practices towards sustainability and productivity.

Keywords: salt stress, faba bean (*Vicia faba L.*), ANOVA, PCA, morphology.

ملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير الإجهاد الملحى على نباتات الفاصوليا من خلال إجراء تجربة تم فيها تطبيق تركيزات ملحية مختلفة على النباتات، حيث تم تسجيل الملاحظات وتحليلها باستخدام تحليل التباين وتحليل المكونات الرئيسية، مما سمح بتحديد المتغيرات الأكثر تأثراً بالإجهاد الملحى من خلال التوزيع الكلى للمعالجات في الفضاء متعدد الأبعاد. كشفت النتائج عن وجود تأثير واضح للإجهاد الملحى على بعض المتغيرات المورفولوجيا مثل عرض الورقة وطول الورقة وطول الورقة اليمنى واليسرى، وقد تبع هذا التغييرات الزيادة في تركيز الملح بشكل مناسب. أما بالنسبة لزوايا الورق اليمنى واليسرى فلم تلاحظ أي تغيرات، مما يشير إلى أن الزوايا كانت أقل تأثراً بالإجهاد الملحى. كما لوحظت تغيرات خارجية في ظهور سطح الورقة، مثل ظهور بقع سوداء وأصفرار وتغير لون الورقة. أخيراً، تسلط هذه الدراسة الضوء على فعالية الإجراءات الإحصائية المتقدمة في استكشاف الاستجابات المعقّدة للخصائص المورفولوجيا للأوراق للإجهاد الملحى وهذه النتائج ضرورية لتجيئه الممارسات الزراعية نحو الاستدامة والإنتاج

الكلمات المفتاحية: الإجهاد الملحى، الفول، ACP,ANOVA ، الشكل الخارجي



Déclaration de correction de mémoire de master 2025

Référence du mémoire	N°: / 2025	PV de soutenance N°: / 2025
Nom et prénom(en majuscule) de l'étudiant (e) :		لقب و إسم الطالب(ة) :
MAREEG.I.C.H.R.A.K / KARAMAN H.E.F.L		م. فرقا. ش راك / كارامان هنفل
La mention	Note./20	العلامة
.....	L'intitulé de mémoire
..... L'effet du stress salin sur les caractéristiques morphologiques des feuilles de fèvre (Vicia faba L.)		

تصريح وقرار الأستاذ المشرف :

Déclaration : Je soussigné (e), , (grade) à l'université de , avoir examiné intégralement ce mémoire après les modifications apportées par l'étudiant. J'atteste que : * le document a été corrigé et il est conforme au modèle de la forme du département SNV * toutes les corrections ont été faites strictement aux recommandations du jury. * d'autres anomalies ont été corrigées	تصريح: أنا الممضى (ة) أسفه (الرتبة) جامعة ، أصرح بأنني راجعت محتوى هذه المذكرة كلياً مراجعة دقيقة وهذا بعد التصحيحات التي أجراها الطالب بعد المناقشة، وعليه أشهد بأن : * المذكرة تتوافق بشكلها الحالي مع النموذج المعتمد لقسم علوم الطبيعة والحياة. * المذكرة صحيحة وفقاً لكل توصيات لجنة المناقشة * تم تدارك الكثير من الإختلالات المكتشفة بعد المناقشة
--	--

Décision :						
Sur la base du contenu scientifique, de degré de conformité et de pourcentage des fautes linguistiques, Je décide que ce mémoire doit être classé sous la catégorie						
acceptable مقبول	ordinaire عادي	bien حسن	très bien جداً جيد جداً	B جيد جداً	excellent ممتاز	exceptionnel متميز
E	D	C		B	A	A+



الأستاذ المشرف

التاريخ
2025 / /

NB : Cette fiche doit être collée d'une façon permanente derrière la page de garde sur les copies de mémoire déposées au niveau de la bibliothèque universitaire