

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

## **Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**



**Faculté des Sciences Agronomiques et des Sciences Biologiques**

**Département de science agronomique**

### ***Mémoire de fin d'études***

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Biologie

**Option : Biodiversité et physiologie végétale**

**Rôle de silicium sur l'atténuation des effets de  
chlorure de calcium sur les graines du pois  
fourrager: *Pisum sativum* L. arvence  
variété « sefrou »**

**Présenté par :**

IKENE Tassadit

LOUNNACI Thanina

**Membres de jury :**

**Présidente : TALEB-TOUDERT. K**

MCA

UMMTO

**Promoteur : MEDJEBEUR. Dj**

MCB

UMMTO

**Co-promotrice : MAKHLOUFI. H**

Doctorante

UMMTO

**Examinatrice : DAOUDI. H**

MCB

UMMTO

**Année universitaires : 2022-2023**



## Remerciements :

Nous remercions le dieu, le tout puissant de nous avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science, et de nous donner les capacités, le courage et la patience pour mener ce travail à son terme.

Ce travail a été réalisé au laboratoire d'écophysiologie végétale de la faculté des sciences biologiques d'UMMTO.

Nous remercions profondément notre promoteur **Mr MEDJEBEUR. Dj**, qui a été un grand rapport pour la réalisation de ce travail. Ses conseils, ses orientations, ainsi que son soutien moral et scientifique nous ont permis de mener à bien ce projet.

Aussi, nous souhaitons adresser nos vifs remerciements à **M<sup>me</sup> TALEB-TOUDERT. K** d'avoir accepté de présider ce jury et à **M<sup>me</sup> DAOUDI. H** D'accepté de juger notre travail.

Nous tenons ainsi à remercier notre co-promotrice **M<sup>me</sup> MEKHLOUFI. H** pour son encouragement et son aide.

Nos remerciements à **Mr FERRAGUIG. N** pour ses aides et précieux conseils.

Je tiens à remercier toutes ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail de près ou du loin.

Une mention très spécial pour nos collègues qui ont rendu l'ambiance si agréable au sein de laboratoire Ferroudja Moudir, Haddadene Sarah, Kacer Ouissam, Kaoudji Kamélia, Lachi Katia, Ali moussa Sarah qui m'ont su à leurs manières de nous soutenir et pour leur sincères amitié.

Enfin, nous tenons à remercier les membres de nos familles pour leurs sacrifices et leurs soutien qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde affection.

# Dédicace :

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents qui ont été les premiers pour leur soutien et encouragements.

Je vous dédie ce travail car je sais que vous êtes fiers de moi.

✚ A mes chères sœurs : Kahina, Dalila.

✚ A mes chers frères : Youcef, Lyes, Hakim.

✚ A toute la famille IKENE.

✚ Pour mes proches, sans exception.

✚ A tous mes amis et à ma binôme LOUNNACI Thanina, qui m'a beaucoup aidé et encourager pour continuer ce travail.

✚ A toute la promotion de la biologie et physiologie végétale.

**IKENE Tassadit**



# Dédicace :

Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus importants  
de ma vie.

A mes chers parents Mohammed & Zineb que dieu les garde.

A mes chères deux sœurs jumelles Ania & Rania que dieu les  
protège.

A mon petit frère Ali, que dieu le garde

A Mon grand-père et mes deux grands-mères maternelles et  
paternelles.

A mon arrière-grand-père et arrière-grand-mère

A toutes mes cousin et cousine et à toutes la famille LOUNNACI.

A tous mes amis et à ma binôme IKENE Tassadit.

A la personne qui m'a beaucoup aidé et encourager pour  
continuer ce travail.

**LOUNNACI Thanina.**



# Table des matières

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Généralités sur le pois fourrager ( <i>Pisum sativum</i> L.).....	3
I.1. Description morphologiques .....	3
I.1.1.Système racinaires .....	3
I.1.2. La partie aérienne .....	4
I.1.2.1. Tige .....	4
I.1.2.2. Feuille .....	4
I.1.2.3. Fleurs.....	4
I.1.2.4. Fruits .....	4
I.2.Classification taxonomique.....	5
I.3. Exigences des légumineuses fourragères.....	5
I.4. L'utilisation.....	6
I.5. Intérêts des légumineuses fourragères .....	6
I.6. Perspective agronomique de la culture de pois fourrager en Algérie .....	6
II. Généralité sur la germination et la salinité .....	7
II.1.Notion de la germination .....	7
II.1.1.Etapes de la germination.....	7
II.1.1.1. La première phase.....	7
II.1.1.2 La deuxième phase .....	7
II.1.1.3. La troisième phase .....	7
II.2.Généralités sur le stress salin.....	8
II.2.1.Définition de stress .....	8
II.2.2.Notion de stress salin.....	8
II.2.2.1. Stress oxydatif .....	8
II.2.2.2. Stress osmotique .....	8

II.2.2.3. Stress ionique.....	8
II.2.3. Influence de la salinité sur la plante .....	9
II.2.3.1. Effet de la salinité sur la germination de la plante .....	9
II.2.3.2. Effet de la salinité sur la croissance de la plante .....	10
II.2.3.2.1. Effet osmotique.....	10
II.2.3.2.2. Effet ionique et spécifique .....	10
II.2.3.2.3. Déséquilibre nutritionnelle .....	10
II.2.3.3. Effet de la salinité sur la morphologie de la plante .....	11
II.2.3.4. Effet de la salinité sur la photosynthèse .....	11
II.2.4. Tolérance des plantes à la salinité .....	11
II.2.4.1. Stratégie de détoxification contre le stress oxydatif .....	12
II.2.4.2. L'homéostasie hydrique contre le stress osmotique .....	12
II.2.4.3. Maintien de l'équilibre ionique .....	12
II.2.4.3.1. Exclusion des ions toxiques.....	12
II.2.4.3.2. Compartimentation de sodium (Na <sup>+</sup> ).....	13
II.2.4.3.3. Mouvement des ions de Na <sup>+</sup> des feuilles vers les racines et l'empêchement de leur circulation vers les parties aériennes .....	13
II.2.4.3.4. Ajustement ionique.....	13
II.2.4.4. Stratégies osmotiques .....	14
II.2.4.4.1. Proline .....	14
II.2.4.4.2. Sucres.....	14
III. Généralités sur le silicate de sodium .....	14
III.1. Définition de silicium .....	14
III.2. Silicium dans la plante .....	14
III.3. Rôle de silicium (atténuation et réduction de stress) .....	15
III.4. Silicium moyen de lutte contre le stress oxydatif.....	16

## Chapitre II : Matériel et méthodes

I. Matériels d'étude .....	18
1. Matériel utilisés .....	18
2. Matériel végétal.....	19
II. Méthode d'étude .....	19
1. Protocole expérimentale.....	19
1.1. Préparation des solutions.....	19
1.2. Préparation des graines.....	20
1.2.1. Tri des graines .....	20
1.2.2. Désinfection des graines .....	20
1.2.3. Scarification des graines.....	21
1.2.4. Pré imbibition.....	21
1.3. Mis en germination.....	21
1.4. Paramètre mesurés .....	22
1.4.1 Taux de germination final (TG%) .....	22
1.4.2. Cinétique de germination .....	22
1.4.3. Détermination la longueur de la tige et de la racine principale des plantules.....	22
1.4.4. Détermination le poids frais de la plantule.....	23
III. Analyse statistique.....	23

## Chapitre III : Résultats et discussions

I. Effet de stress salin provoqué par $\text{CaCl}_2$ et de silicate de sodium seul et combinée sur la germination des graines de <i>Pisum sativum</i> L.....	24
I.1. Effet du stress salin provoqué par $\text{CaCl}_2$ et de silicate de sodium seul et combinée sur la cinétique de germination des graines de <i>Pisum sativum</i> L .....	24
I.2. Effet de différentes concentrations de sels et de silicate de sodium seul et combinée sur le taux de germination des graines de <i>Pisum sativum</i> L .....	25
I.2.1. Effet de différentes concentrations de sels et de silicate de sodium seul et combinée sur la longueur de la partie aérienne des plantules de <i>Pisum sativum</i> L.....	26

I.2.2. Effet de différentes concentrations de sels et de silicate de sodium seul et combinée sur la partie racinaire des plantules de <i>Pisum sativum</i> L.....	27
I.2.3. Effet de différentes concentrations de sels et de silicate de sodium seul et combinée sur la biomasse des plantules de <i>Pisum sativum</i> L.....	28
II. Discussion.....	30
<b>Conclusion.....</b>	<b>32</b>
<b>Références bibliographiques</b>	

## Liste des figures

**Figure 01 :** Plant de *Pisum sativum* L., monographie : branche d'une plante portant fleur et des vrilles (A), fleur (B), fleur en coupe longitudinale (C), jeune gousse ou cosse(D) et jeune gousse ouverte montrant les graines (E). (Zohary et Hopf; 1988).

**Figure 02 :** Mécanismes de régulation de la tolérance à la salinité (Cheong et yun; 2007).

**Figure 03 :** Mécanismes d'atténuations de la sécheresse et le stress salin chez les plantes en moyenne de contribution de silicium (Rizwan *et al.*, 2015).

**Figure 04 :** Les graines de *Pisum sativum* L. variété (Sefrou) proviennent de la récolte de 2022.

**Figure 05 :** Effet du stress salin provoqué par  $\text{CaCl}_2$  et Silicate de sodium seul et combiné sur la cinétique de germination des graines de *Pisum sativum* L.

**Figure 06 :** Effets de différentes concentrations de sel et de silicate de sodium seul et combinée sur le taux de germination des graines de *Pisum sativum* L.

**Figure 07 :** Effets de différentes concentrations de sel et de silicate de sodium seul et combinée sur la longueur aérienne des plantules de *Pisum sativum* L.

**Figure 08 :** Effets de différentes concentrations de sel et de silicate de sodium seul et combinée sur la longueur racinaire des plantules de *Pisum sativum* L.

**Figure 09 :** Effet de différentes concentrations de sels et de silicate de sodium seul et combinée sur la biomasse des plantules de *Pisum sativum* L.

## Liste des tableaux

**Tableau 01** : Classification taxonomique : (USDA, 2008)

**Tableau 02** : Composition de la Solution nutritive utilisé dans la culture hydroponique (Ali *et al.*, 2011).

**Tableau 03** : géotype de la variété étudié « sefrou » (Ouafi *et al.*, 2016).

## Liste des abréviations

**CaCl<sub>2</sub>** : chlorure de calcium.

**Si** : silicate de sodium (silicium).

**Ca\*si** : combinaison de chlorure de sodium avec silicate de sodium.

**T** : témoin.

**Ca** : la concentration de chlorure de calcium à 32 g/L.

**Cb** : la concentration de chlorure de calcium à 40 g/L.

**Cc** : la concentration de chlorure de calcium à 48 g/L.

**Sa** : la concentration de silicate de sodium à 0,6 g/L.

**Sb** : la concentration de silicate de sodium à 0,9 g/L.

**Na<sup>+</sup>** : ion de sodium

**Cl<sup>-</sup>** : ion de chlorure

**ITGC** : L'Institut Technique Des Grandes Cultures.

**TG** : Taux de Germination.

**FAO** : Food and Agriculture Organique

**Cm** : centimètre.

**g/L** : gram par litre

**%** : pourcentage

**ROS** : Espèces Réactives d'Oxygènes

**SOD** : Super Oxyde Dismutase

# **Introduction**

### Introduction générale :

Le fourrage appartient à deux familles botaniques : les graminées ou poaceae, les légumineuses ou (Fabaceae) Herbacées et ligneuses (Klein *et al.*, 2014).

Les cultures de légumineuses alimentent deux filières : la première pour l'alimentation animale représentée par les légumineuses fourragères et la deuxième pour l'alimentation humaine ce sont les légumineuses à grains (Denhartigh *et al.*, 2015), ainsi sont capables d'établir une interaction symbiotique avec des bactéries du sol appelée rhizobies (Stacey *et al.*, 2006), cependant il vise à améliorer l'autonomie alimentaire des élevages renforcées la durabilité des systèmes de production et réduire les coûts généraux par une faible autosuffisance alimentaire (Abbes, 2018).

Les légumineuses sont une source importante des protéines végétales surtout parmi les populations les plus pauvres des pays en développement, Les cultures fourragères occupent une place marginale au niveau de production végétale en Algérie qui peuvent jouer un rôle déterminant, donc il est indispensable de diversifier ces cultures et la méthode de leur conservation dans les régions favorables pour l'élevage bovin laitier pour assurer une alimentation de bonne qualité (Abdelguerfi *et al.*, 2008).

Dans le monde entier, le pois est une culture agronomique importante a servi a d'excellentes sujets pour les études physiologique et génétique (Mcphee, 2007). Mise aussi le pois fourrager est une légumineuse destinées pour la production d'herbage chez les ruminants, et son agronomie nécessite des niveaux élevés d'irrigation et de fertilisation (Acikbas *et al.*, 2021).

Le problème le plus critique pour les écologistes et physiologistes c'est la salinisation des sols et des eaux souterraines qui entravent une production agricole durable est constituant une tâche ardue (kheloufi *et al.*, 2018). D'ailleurs la salinité des sols n'est pas un phénomène récent, il est signalée depuis des siècles où l'humanité et la salinité sont cohabités (Zaman *et al.*, 2018).

La salinité est l'un des principaux facteurs responsable de la dégradation et la réduction de la productivité des terres agricoles en les rendant impropres à l'agriculture par leur concentration excessive en sels. Les sols salins constituent un environnement défavorable

pour la croissance des légumineuses. Il est largement reconnu que la salinité des sols a augmenté avec le temps suite à l'impact de changement climatique (Kaya, 2021).

D'après (Belkhouja et Bidai; 2004), le nombre des terres affectées par la salinité est environ 10%, et 10 millions d'hectares de terres agricoles sont perdues chaque année, plusieurs études ont déduit que la salinité, ainsi en Algérie 32 millions d'hectares sont affectées par cette contrainte constitue une contrainte importante pour les légumineuses car il limite leur fixation symbiotique de l'azote.

Les réactions des végétaux face au stress salin varient en fonction des espèces, des variétés et surtout du stade du développement des plantes (Brun, 1981), d'autre part il s'avère difficile d'estimer les conséquences d'un stress salin car il recouvre à la fois des stress hydrique, ionique et nutritionnel (Levigneron *et al.*, 1995).

En Algérie, les possibilités d'améliorations des productions fourragères sont peu exploitées (Abdelguerfi *et al.*, 2008).

De nombreux scientifiques appliquent le silicium pour le but d'amélioration de tolérances des plantes au sel à travers multiples voies physiologiques et biochimiques en raison de sa nature hydrophile, d'ailleurs il est mentionnée comme un élément à un effet bénéfique pour l'agriculture moderne (Chakroun *et al.*, 2016).

Par ailleurs, notre travail vise à étudier le rôle du silicium dans l'atténuation des effets du Chlorure de Calcium sur les graines du Pois fourrager: *Pisum sativum* L. variété « Sefrou ». Cultivées en Algérie, en estimant plusieurs paramètres liés à la germination et au développement des plantules après l'exposition des grains à différentes concentrations de  $\text{CaCl}_2$ .

Ce mémoire est reparti en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique sur *Pisum sativum* L. (le pois fourrager) cette partie traite également des effets de la salinité sur la physiologie et le développement de la plante et l'apport de silicium dans l'amélioration de la tolérance aux contraintes abiotiques en général et à la salinité en particulier.

Le deuxième chapitre on a décrit le matériel et les méthodes utilisées.

Le troisième chapitre consacré aux résultats obtenus suivis d'une discussion

Dernièrement, ce mémoire se termine par une conclusion générale.

# **Chapitre I**

## **Synthèse**

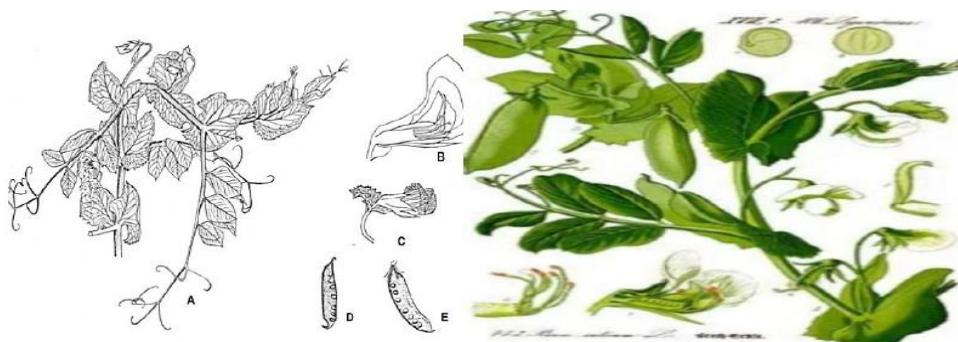
### **Bibliographique**

Les deux familles les plus utiles à l'alimentation dans le monde se sont les légumineuses avec les graminées (Klein *et al.*, 2014).

En Algérie, la culture de légumineuses existe sur les zones littorales jusqu'aux plateaux, on y trouve de nombreuses espèces comme le pois chiche, le haricot, la fève, le pois et la lentille (Lazali, 2014).

## **I. Généralités sur le pois fourrager (*Pisum sativum* L.):**

Le pois fourrager (*Pisum sativum* L.) est une légumineuse destinée pour l'alimentation humaine et animale comme il peut être utilisé comme engrais. Il est composé de 60% de glucides, et 23% de protéines, 1 à 2 % de matière grasse, les glucides sont composés de 49% d'amidon et 21% de fibres alimentaires et 6% de sucres ainsi qu'ils ont une bonne source de vitamines et de minéraux et phosphore, magnésium et calcium (Abdelguerfi *et al.*, 2008).(Figure 01).



**Figure : 01** : Plant de *Pisum sativum* L., monographie : branche d'une plante portant fleur et des vrilles (A), fleur (B), fleur en coupe longitudinale (C), jeune gousse ou cosse(D) et jeune gousse ouverte montrant les graines (E). (Zohary et Hopf; 1988).

### **I.1. Description morphologiques :**

#### **I.1.1.Système racinaires :**

Le système racinaire souterrain se compose d'un pivot principal capable de développer des racines secondaires et tertiaires. Les racines secondaires sont abondantes et présentent des nodosités dans les 30 premières centimètres (Yakoubi, 2013).

**I.1.2. La partie aérienne :****I.1.2.1.Tige :**

Les tiges de cette plante présentent une longueur variant de 50cm à 200 cm. ce sont des tiges herbacées, fines et cylindrique, creuses, arrondies ou légèrement anguleuses, qui ont une croissance indéfinie (Prioul et *al.*, 2004) (figur01).

**I.1.2.2.Feuille :**

Les feuilles de cette plante sont constituées de 4 à 5 folioles disposées de manière alternative. Elles présentent une gamme de couleurs allant du vert jaunâtre au bleu foncé. Les folioles peuvent être entières ou légèrement dentelées, avec une forme ovale ou elliptique. Leur extrémité peut être arrondie et crénelée, pointue ou tronquées selon les différentes variétés, de plus, la feuille se prolonge par des vrilles de plusieurs centimètres de long (Mc Gee, 2012).

**I.1.2.3.Fleurs :**

Les fleurs sont caractéristiques de la sous famille des papilionacé, de type zygomorphe à ovaire supérieur cléistogames. Elles sont principalement blanches, avec un étendard d'un blanc légèrement bleuâtre et des ailes d'un violet foncé.

Les fleurs mesurent entre 3 et 4 cm de longueur et apparaissent à l'aisselle des feuilles. Les pédoncules, de longueur variable portent d'une à trois fleurs (Elzebroek et Wind; 2008).

**I.1.2.4.Fruits :**

La gousse est de taille variable, mesurant entre 6 et 8 cm, et contient de 4 à 12 graines. Les gousses ont généralement une couleur verte, avec des extrémités plus ou moins effilées ou tronquées. Les graines sont globuleuses, lisses et sans marbrures. Elles renferment des réserves principalement composées d'amidon et de protéines (Yakoubi, 2013).

**I.2. Classification taxonomique : (USDA, 2008)****Tableau 01:** classification de pois fourrager (USDA, 2008).

<b>Embranchement</b>	<b>Phanérogames</b>
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Magnolipsida ; (Dicotylédones)
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae (légumineuses). Papilionaceae
Sous-famille	Faboideae ; Papilionideae
Tribu	Fabaceae
Genre	<i>Pisum</i>
Espèce	<i>Pisum sativum</i> L.
sous espèce	<i>arvense</i>

**I.3. Exigences des légumineuses fourragères :**

Les conditions climatiques de la culture du pois doivent être comprises entre 7° et 24° C qui représente un climat frais et relativement humide, *Pisum sativum* L. est une légumineuse ne pousse pas que dans les régions où la précipitation ne dépasse pas 400 mm bien que la pluviométrie idéale est de 800 et 1000 mm par an, la floraison chez le pois est favorisée dans la période des jours longs est caractérisée par une légère sensibilité à la photopériode. Le pois s'adapte à tous les types de sol, à condition qu'il soit bien drainé et doté d'une bonne capacité de stockage de l'eau, la valeur de PH optimum est entre 5.5 à 7 (Brink et Bilay; 2006).

**I.4. L'utilisation :**

*Pisum sativum* L. est consommé comme légume par l'homme ou utilisé comme aliment du bétail (Benoît *et al.*, 2006).

La partie végétatif contient un fourrage soit sec soit en vert, frais ou ensilé offre un avantage de contenir un taux élevée de protéines dans leur feuilles et dans leur graines consommé comme compliment alimentaire.

Les tiges sont utilisées pour confectionner des paniers, toitures, les clôtures et comme combustible, et plusieurs partie de la plante entre dans les productions des médicaments traditionnels .En général les légumineuses fourragères continuent à fournir une partie de partie totale d'herbage et la majeure partie de la ration protéique de bétail (Baumer, 1992).

**I.5. Intérêts des légumineuses fourragères :**

Les légumineuses ils possèdent un taux de protéines élevée 17 à 25 % il tient ainsi un rôle important dans notre alimentation humaine (dans beaucoup de pays , elle remplacent les protéines animales ) (Pointerau, 2001 ) d'autres part l'azote contenu dans l'air est absorbé par les légumineuses et il est utilisé pour leur croissance , une fois la plante récoltées les racines nodulées reste en terre pourrissent ce qui provoque par la suite une libération de l'azote dans le sol qui pourra être absorbé par une autre plante , Ceci induit une autonomie vis-à-vis la présence d'azote et facilite la gestion des problèmes environnementaux liée à la fertilisation et élimine les ennemis des cultures (Mbengue, 2010).

**I.6. Perspectives agronomique de la culture de pois fourrager en Algérie :**

En Algérie la culture des espèces fourragères est un but principal des agricultures, particulièrement sur le plan économique leur développement permettra :

- L'amélioration de production laitière.
- La production des viandes.
- Le développement de l'apiculture.
- La création d'emploi.

Les légumineuses fourragères jouent un rôle important grâce à la capacité de fixer l'azote atmosphérique (Issolah, 2018), et occupent une place importante dans les systèmes de culture et dans l'alimentation de la population (Abdelguerfi *et al.*, 2003).

## **II. Généralité sur la germination et la salinité :**

### **II.1. Notion de la germination :**

La première étape critique et la plus sensible de cycle de vie des plantes c'est la période de la germination des graines (Belkhodja et Bidai; 2004).

La germination c'est un phénomène par laquelle le développement de l'embryon s'effectue en utilisant les réserves de la graine grâce à ces stocks, l'organe qui apparaît en premier est la radicule dès que la germination prend en fin, autrement dit c'est le passage de la vie latente de la graine à la vie active selon les conditions favorable (humidité, température) (mazliak, 1982).

#### **II.1.1. Etapes de la germination :**

Comprend trois phases successives :

##### **II.1.1.1. la première phase :**

C'est la phase d'imbibition de la graine qui se traduit par une augmentation régulière et importante de l'activité respiratoire (Mazliak, 1982).

##### **II.1.1.2 La deuxième phase :**

C'est la germination sensu stricto elle est marquée par un arrêt de l'absorption de l'eau et une activité respiratoire régulière (Mazliak, 1982).

##### **II.1.1.3. La troisième phase :**

Il est caractérisé par une reprise de l'absorption de l'eau et une activité respiratoire de plus en plus importante due au développement de la radicule (Mazliak, 1982).

**II.2.Généralités sur le stress salin :****II.2.1.Définition de stress :**

La notion de stress peut être envisagée comme une perturbation plus ou moins soudaine par rapport aux conditions normales de la plante, accompagnée d'une réaction perceptible de l'organisme dans ses différents aspects physiologiques. Cette réaction peut se traduire par une adaptation à la nouvelle situation ou par une détérioration conduisant éventuellement à un résultat fatal (Leclerc, 1999).

**II.2.2.Notion de stress salin :**

Le stress salin est défini comme l'exposition des plantes à la salinité, principalement due au NaCl cela engendre une réponse chez les plantes, qui mettent en place divers mécanismes pour faire face à cette salinité. Les sels impliqués varient en fonction de la salinité comprenant principalement les cations sodium ( $\text{Na}^+$ ), potassium ( $\text{K}^+$ ), calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ), magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ) ainsi que les anions chlore ( $\text{Cl}^-$ ), sulfates ( $\text{SO}_4^-$ ), carbonate ( $\text{CO}_3^-$ ) et nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ). Le stress salin peut être classé en trois catégories distinctes (Trung, 2020).

**II.2.2.1. Stress oxydatif :**

Il fait référence à l'agression cellulaire causé par les radicaux libres, qui sont des composés d'oxygène hautement toxiques appelés espèces réactives de l'oxygène (ERO). ces radicaux libres entraînent l'oxydation des cellules, créant ainsi un déséquilibre entre les antioxydants et les radicaux libres (pro -oxydants) (parent *et al.*, 2008).

**II.2.2.2. Stress osmotique :**

Lorsque la salinité ou la sécheresse est présente en quantité insuffisante, cela entraîne la fermeture des stomates, ce qui restreint les échanges gazeux et exerce une influence négative sur la croissance de la plante (Shao *et al.*, 2008).

**II.2.2.3. Stress ionique :**

On peut le décrire comme l'accumulation d'ions toxiques tels que le sodium ( $\text{Na}^+$ ) et le chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) dans les cellules végétales (Yang et Guo; 2018).

**II.2.3. Influence de la salinité sur la plante :**

En règle générale, la salinité a un impact défavorable sur le développement des plantes, pouvant entraîner un arrêt complet ou une diminution de leur croissance, ainsi que des altérations morphologique, physiologique, biochimique et anatomique (Levigneron *et al.*, 1995).

**II.2.3.1. Effet de la salinité sur la germination de la plante :**

La germination des plantes est impactée par la salinité, que ce soit pour les plantes adaptées aux environnements salins (halophytes) ou non adaptées (glycophytes), et cet effet inhibiteur peut varier selon l'espèce, se manifestant de manière osmotique ou toxique (Ismail, 1990). La salinité, quant à elle, provoque des altérations des activités biochimiques et physiologiques des graines en perturbant la respiration aérobie ou en stimulant les processus de catabolisme en raison des facteurs suivants (Shrivastava et kumar; 2015).

- ✓ La chlorose,
- ✓ La réduction du potentiel osmotique du milieu de croissance,
- ✓ La carence en éléments nutritifs tels que le calcium (Ca), le potassium (k), l'azote (N), le (Fe), le phosphore (p) et le zinc (Zn),
- ✓ Le stress causé par la salinité entraîne une diminution de la teneur en azote (N) et, en fin de compte, une réduction des protéines dans les graines,
- ✓ La toxicité ionique.

La germination des graines et le stade le plus sensible a ces facteurs abiotiques, le sel à un effet dépressif sur le taux de germination, la croissance biologique et la production en grains, cet effet varie en fonction de l'intensité du stress et de variété en question (Rahmoune *et al.*, 2001), il provoque un retard et même un blocage de germination cela a cause d'un effet osmotique ou bien a cause d'une toxicité ionique.

La salinité peut se manifesté par deux effets au cours de la période de germination, le premier est osmotique qui est réversible et le deuxième est toxique qui est irréversible, qui provoquent une inhibition de la réserve des graines (Benidire *et al.*, 2015), les performances

de germination sous salinité dépendent de la vigueur des graines et des facteurs génotypiques (kaya, 2021).

### **II.2.3.2. Effet de la salinité sur la croissance de la plante :**

La réduction de la croissance due à la salinité se déroule en deux phases distinctes (kordorstami et rabiei; 2019).

La première phase : caractérise par un déclin rapide de la croissance en raison de l'effet osmotique. Et la deuxième phase correspond à un retard progressif de la croissance dû à la perméabilité altérée des membranes cellulaires, entraînant une fuite d'électrolytes et finalement le flétrissement de la plante (Liang *et al.*, 2003).

La carence d'absorption de potassium, associée à une présence élevée de sodium, explique le déclin de la croissance de la plante (Mousa *et al.*, 2013).

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

Selon le même auteur, le sodium et le chlore causent trois problèmes majeurs spécifiques aux plantes supérieures:

**II.2.3.2.1. Effet osmotique :** la présence de sel dans les sols crée une force d'attraction sur les molécules d'eau, ce qui entraîne une diminution de l'absorption par les plantes. En conséquence, les plantes transfèrent une quantité excessive d'énergie au sol, ce qui intensifie la respiration et entraîne une réduction de leur croissance. ce phénomène est désigné sous le terme de « sécheresse physiologique » causée par la salinité (Kafi, 2009).

**II.2.3.2.2. Effet ionique et spécifique :** l'accumulation de  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$  ou  $\text{Cl}^-$  dans les cellules végétales entraîne une inactivation enzymatique, la mort des cellules, puis ultimement la mort totale de la plante (Hanumantha Rao *et al.*, 2016).

**II.2.3.2.3. Déséquilibre nutritionnelle :** l'équilibre nutritionnel est déterminé par la présence adéquate de certains éléments nutritifs, qui sont affectés par le sodium et le calcium.

Des niveaux élevés de sodium entraînent une diminution d'autres cations dans les plantes, perturbant ainsi l'équilibre des ions. cela crée une compétition avec d'autres éléments

tels que le calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ), le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) et le potassium (k) (El-Ramady *et al.*, 2018) et d'après les mêmes auteurs, la précipitation des ions phosphate de calcium ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) dans le sol réduit l'absorption du phosphore par les plantes.

#### **II.2.3.3. Effet de la salinité sur la morphologie de la plante :**

Les signes révélateurs de l'influence du stress salin sur la morphologie des plantes comprennent les éléments suivants d'après (Kordorstami et Rabiei; 2019).

- Chlorose, qui se manifeste par un jaunissement anormal des feuilles.
- Réduction de la croissance des feuilles en raison de la diminution de la surface foliaire.
- Diminution de la concentration intracellulaire dans les feuilles.
- Cessation du développement des racines et des méristèmes apicaux, accompagnée d'une diminution de leur diamètre et de leur tissu vasculaire.

#### **II.2.3.4. Effet de la salinité sur la photosynthèse :**

Les pigments photosynthétiques sont sensibles au stress salin, L'impact du sodium sur les feuilles conduit à la dégradation de la chlorophylle, ce qui entraîne une chlorose. De plus, la concentration croissante de sel dans l'environnement provoque également une diminution des taux de caroténoïdes (Ashraf et Harris, 2013). Et la dégradation réduit l'efficacité des photosystèmes PSI et PSII, ce qui entraîne une diminution de la photosynthèse (Zhen-hua *et al.*, 2012). De plus, le stress salin affect directement la surface foliaire des feuilles, soit par un stress hydrique, soit par un stress ionique, ce qui entraîne une diminution des réserves photosynthétique. des niveaux élevés de sodium peuvent également inhiber l'activité de la photosynthèse (Kordorstami et Rabiei; 2019). En effet, en présence de salinité, la conductance stomatique diminue initialement aux premiers stades du stress salin, ce qui provoque la fermeture des stomates en raison de la sécheresse induite par la rétention d'eau due au sel, empêchant ainsi l'absorption d'eau par la plante (Piotr et Giles; 2009).

#### **II.2.4. Tolérance des plantes à la salinité :**

La tolérance des plantes à la salinité se manifeste par leur capacité d'adaptation à ce facteur à travers des modifications et la mise en œuvre de certains mécanismes physiologiques. Ces mécanismes agissent pour limiter l'entrée du sel dans la plante et réduire son accumulation

dans les tissus photosynthétiques et cytoplasmiques. Une forte concentration de sel entraîne une augmentation de la teneur foliaire avec les ions  $\text{Ca}^+$  et  $\text{K}^+$  (Haouala *et al.*, 2007), à l'intérieur des cellules accumulés dans la vacuole, le potentiel osmotique de cytoplasme est ajusté avec des solutés organiques dites compatibles : composé aminé (essentiellement proline, bêtaïne, sucre et polyols) (Levigneron *et al.*, 1995). Ainsi une apparition de la proline au niveau des feuilles et des racines avec une concentration élevée ce dernier est considéré comme un indice de la tolérance à la salinité ce qui explique un bon statut hydrique (Achour *et al.*, 2015).

#### **II.2.4.1. Stratégie de détoxification contre le stress oxydatif :**

Les espèces réactives de l'oxygène (ROS), telles que le peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), les radicaux superoxydes ( $\text{O}_2^-$ ) et les radicaux hydroxyles (OH), sont des composés qui réagissent avec les molécules d'oxygène en réponse à des stress abiotiques tels que la salinité (Hanana *et al.*, 2011). Selon les auteurs, ces ROS sont toxiques pour les cellules en raison de leurs dommages oxydatifs. C'est pourquoi les plantes développent des mécanismes de défense, tels que les antioxydants (composés phénoliques, flavonoïdes, anthocyanes, acide ascorbique) et certaines enzymes telles que la catalase (cat), la superoxyde-dismutase et la peroxydase, afin de limiter les effets toxiques de ces substances.

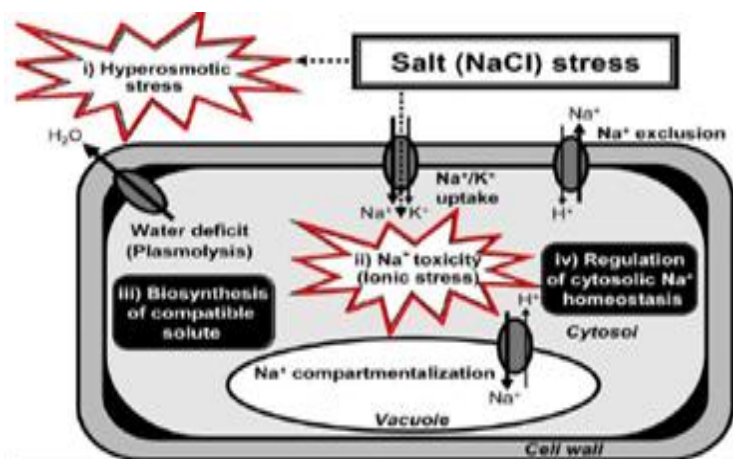
#### **II.2.4.2. L'homéostasie hydrique contre le stress osmotique :**

L'homéostasie hydrique se réfère au maintien d'un équilibre de l'eau dans les tissus de la plante en assurant les mécanismes de transfert et l'absorption racinaire qui permettent de compenser la perte d'eau par les stomates (transpiration). Le stress osmotique perturbe cette homéostasie hydrique en altérant l'équilibre de la pression osmotique, ce qui conduit les cellules végétales à accumuler des solutés compatibles tels que le saccharose, la proline et les glycine bêtaïnes dans leur cytosol (Trung, 2020).

#### **II.2.4.3. Maintien de l'équilibre ionique :**

##### **II.2.4.3.1. Exclusion des ions toxiques :**

La protéine SOS1, située sur la membrane plasmique des cellules épidermiques racinaires, joue un rôle d'exportation du sodium ( $\text{Na}^+$ ) en excès présent dans le cytosol. Elle agit comme un antiport  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  en expulsant le sodium vers l'extérieur (Hanana *et al.*, 2011; Trung, 2020).



**Figure02** : Mécanismes de régulation de la tolérance à la salinité (Cheong et yun; 2007).

#### II.2.4.3.2. Compartimentation de sodium ( $\text{Na}^+$ ) :

Le sodium résiduel présent dans le cytosol est isolé dans la vacuole grâce à l'action des transporteurs NKX1, qui agissent comme des antiports  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  (Trung, 2020).

#### II.2.4.3.3. Mouvement des ions de $\text{Na}^+$ des feuilles vers les racines et l'empêchement de leur circulation vers les parties aériennes :

La présence des protéines  $\text{HKT}_1$  dans le phloème des feuilles facilite le transport du sodium ( $\text{Na}^+$ ) vers les racines. Ces protéines sont également présentes dans les parenchymes du xylème racinaire afin de transférer le  $\text{Na}^+$  de la sève du xylème vers les cellules du parenchyme xylémien (Trung, 2020).

#### II.2.4.3.4. Ajustement ionique :

Les vacuoles contiennent une concentration élevée de  $\text{Na}^+$  en raison de la compartimentation de cet ion. Afin d'ajuster la pression osmotique au niveau du cytoplasme, le rapport  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  est augmenté, ce qui augmente la concentration de potassium. Cela permet d'atteindre un équilibre de concentration des ions (Trung, 2020).

**II.2.4.4. Stratégies osmotiques :****II.2.4.4.1. Proline :**

La proline, en tant que composé soluble et compatible dans l'ajustement osmotique, apporte une contribution significative à l'amélioration de l'activité de plusieurs enzymes anti oxydantes. De plus, la proline a la particularité de pouvoir s'accumuler sans causer de toxicité. L'apport externe de proline améliore l'activité de plusieurs enzymes anti oxydantes. La proline agit en tant que composé soluble et compatible avec l'ajustement osmotique, ce qui permet son accumulation sans causer de toxicité (Asheraf et foolad; 2007).

**II.2.4.4.2. Sucres :**

Lorsque les plantes sont soumises à un stress abiotique, il se produit une accumulation de sucres solubles au niveau cellulaire. Cette accumulation est étroitement liée à l'inhibition de la glycolyse et à l'hydrolyse de l'amidon, montrant ainsi une corrélation positive entre la synthèse des sucres solubles et ces processus. Lors de stress abiotiques, il a été observé une accumulation de sucres ou de leurs dérivés alcoolique tels que le mannitol et le sorbitol (philips *et al.*, 2002), accompagnée de composés aminés entraîne une augmentation du potentiel osmotique dans le cytoplasme . Les sucres jouent un rôle crucial dans la préservation des macromolécules spécifiques, telles que les enzymes, et contribuent à maintenir la stabilité des membranes (Su *et al.*, 1999).

**III. Généralités sur le silicate de sodium :****III.1. Définition de silicium :**

Le silicium est un agent anti-stress, il est présent dans les plantes en quantité équivalente a celle des macronutriments telle que le phosphore ; magnésium ; calcium, dans le passé le silicium est classé comme un élément non essentiel pour la nutrition des plantes. Récemment il a été découvert que le Si devrait être inclus dans les éléments essentiels pour la plantes en cas de stress salin (Epstein, 1999).

**III.2. Silicium dans la plante :**

Le silicium se trouve principalement sous forme de dioxyde de silicium (SiO<sub>2</sub>), connu sous le nom de silice, qui est un composant majeur des roches, des minéraux et des sables. La silice est présente dans de nombreux types de sols et de substrats, et elle joue un rôle

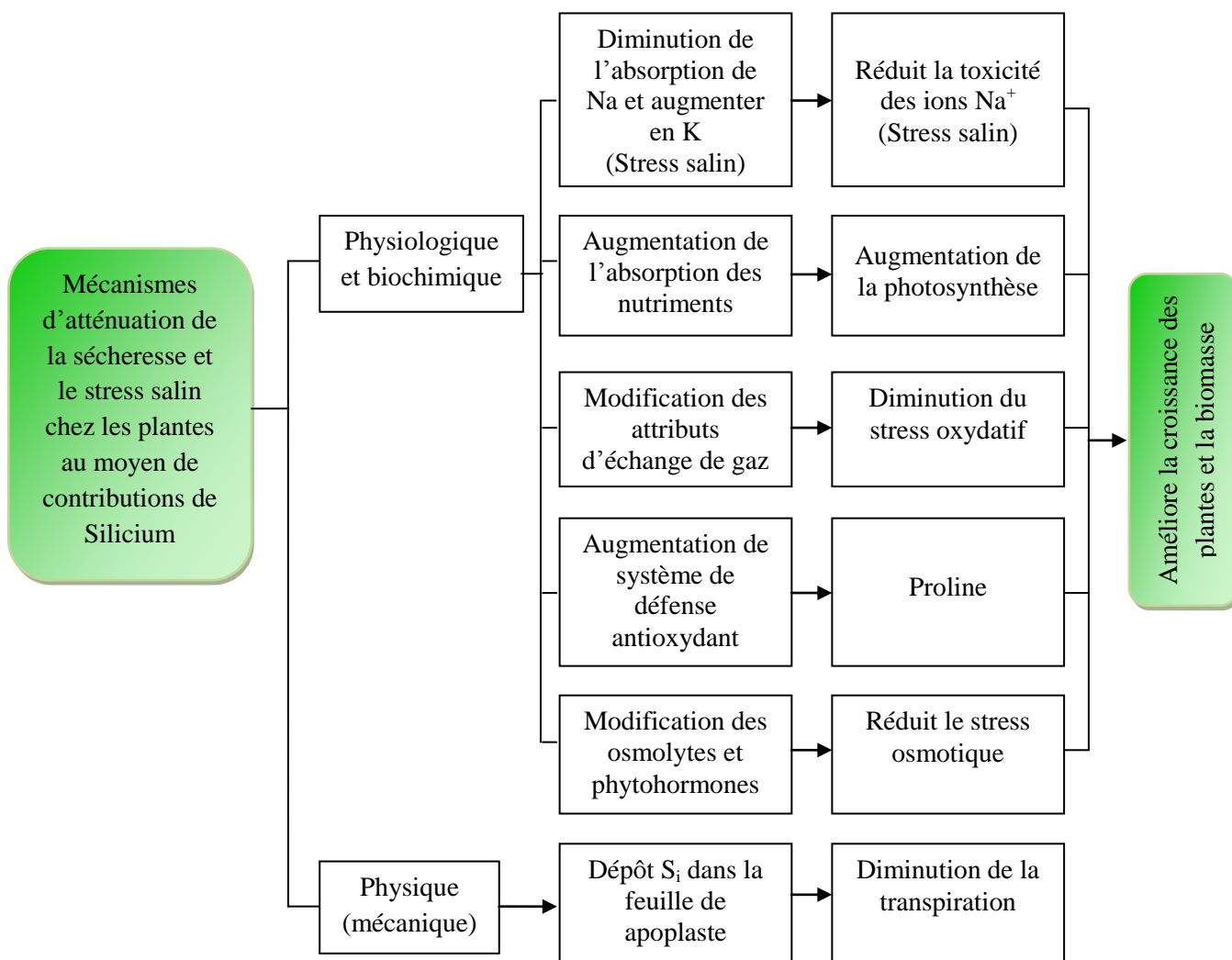
important dans la formation et la structure des sols (Bouzoubaâ *et al.*, 2009). Le Si est prélevé sous forme d'acide monosilicique non chargé ( $H_4SiO_4$ ) par les plantes, présente dans la phase aqueuse du sol lorsque le PH est inférieur à 9 (Ma et Takahashi; 2002).ainsi que les transporteurs de silicium sont présents au niveau de l'endoderme et du site de chargement du xylème. (Henriet *et al.*, 2008).

### **III.3. Rôle de silicium (atténuation et réduction de stress) :**

Des recherches ont démontré que la présence de silicium est en réalité une nécessité biologique pour certaines plantes (Rizwanet *et al.*, 2015). En l'absence de silicium, ces plantes montrent généralement une structure plus faible par rapport aux plantes riches en silicium, connues sous le nom de plantes bio-accumulatrices de silicium. De plus, l'absence de silicium peut entraîner des anomalies au niveau de la croissance, du développement, de la viabilité et de la reproduction des plantes, les rendant plus sensibles aux stress biotiques et abiotiques (Epstein, 1999).

L'apport de silicium dans l'alimentation des plantes génère de nombreux effets bénéfiques sur leur croissance et leur capacité à tolérer différents stress environnementaux. Cependant, il est important de noter que ces effets sont souvent de nature prophylactique, ce qui signifie que la plante doit absorber le silicium avant d'être exposée au stress pour observer ces bénéfices (Bélanger *et al.*, 1995).

Il est vrai que le silicium n'est généralement considéré comme un élément non essentiel au cycle vital des plantes supérieures (angiospermes).Cela signifie que ces plantes peuvent compléter leur cycle de vie sans avoir besoin de silicium pour leur survie (Epstein, 1999). Cependant, le silicium peut jouer un rôle important dans l'amélioration de la résistance et de la santé des plantes lorsqu'elles sont confrontées à des conditions stressantes (Debona *et al.*, 2017).



**Figure 03 :** Mécanismes d’atténuations de la sécheresse et le stress salin chez les plantes en moyenne de contribution de silicium (Rizwan *et al.*, 2015).

### III.4. Silicium moyen de lutte contre le stress oxydatif :

Au cours de leur cycle de vie, les plantes cultivées sont exposées à de nombreux facteurs de stress qui peuvent avoir des conséquences néfastes sur leur croissance et leur développement. Ces stress peuvent être d'origine biotique (causés par des organismes vivants tels que les parasites, les maladies ou les mauvaises herbes) ou abiotique (liés aux conditions environnementales telles que la sécheresse, les températures extrêmes, les sols pauvres en éléments nutritifs, etc). Ces contraintes environnementales ont un impact significatif sur les rendements agricoles, ce qui représente des pertes importantes pour l'industrie agroalimentaire. Afin de lutter contre ces

différents ravageurs des cultures, les méthodes de lutte chimique ont été largement utilisées. Cependant, bien qu'efficaces, ces méthodes comportent des risques indéniables pour l'environnement et la santé humaine. Par conséquent, il devient crucial de développer des alternatives de lutte moins préjudiciables (alayat, 2015).

# **Chapitre II**

## **Matériel et méthodes**

## I. Matériel d'étude

### 1. Matériel utilisés :

Chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ) M=32g/L ; M=40g/L ; M=48g/L.

Silicate de sodium (Si) M=0,6g/L ; M=0 ,9g/L.

L'eau distillée, l'eau de javel, l'alcool, balance, fioles, papier aluminium, boîtes de pétri, papier absorbant, les étiquettes, mortier, passoire, l'agitateur, barreaux et la tige magnétique, l'étuve.

#### ➤ Préparation de la Solution nutritive :

Après dix jours de germination on a arrosée les plantules avec différentes solutions.

**Tableau 02 :** Composition de la solution nutritive utilisée dans la culture hydroponique (Ali et *al.*, 2011).

Elements chimiques.	Concentration ( $\text{mg.l}^{-1}$ ).
$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$	48.2
$\text{MgSO}_4$	65.9
$\text{K}_2\text{SO}_4$	15.9
$\text{KNO}_3$	18.5
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	59.9
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	24.8
Fe citrate	6.8
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.9
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.11

## 2. Matériel végétal :

Nous avons utilisé une variété de pois fourrager : *Pisum sativum* L. variété « Sefrou » la plus cultivée en Algérie depuis longtemps d'origine marocaine (ITGC).

Les graines proviennent de la récolte de 2022 d'une station située de la wilaya de Sidi-Bel-Abbès et elles nous ont été fournies par l'institut technique des grandes cultures (ITGC) situé à el Harrach à Alger. Ces graines n'ont pas subi aucun traitement et elles étaient stockées dans un endroit sec à température ambiante du laboratoire.

**Tableau 03 :** Génotype de la variété étudié « sefrou » ITGC.

Code	Provenance	Lieu de collecte	Pays d'origine
Sefrou	ITGC	Sidi-Bel-Abbès	Maroc

## II. Méthode d'étude :

Le présent travail est réalisé au niveau du laboratoire d'écophysiologie végétale du département des sciences biologique à L'UMMTO.

Nous avons procédé à des essais concernant l'effet de différentes concentrations de sel ( $\text{CaCl}_2$  à  $M=32\text{g/L}$ ,  $40\text{g/L}$ ,  $48\text{g/L}$ ) et de silicate de sodium ( $\text{Si}$   $M=0,6\text{g/L}$ ,  $0,9\text{g/L}$ ) et combinée avec différentes concentrations de sel précédentes sur les paramètres de germination et du début de croissance des graines du *Pisum sativum* L.

### 1. protocole expérimentale :

#### 1.1. Préparation des solutions :

Préparation des solutions à différentes concentrations :

- Pour le sel  $\text{CaCl}_2$  : (à 32; 40; 48 g/L).

Nous avons procédé ces étapes suivantes pour toutes les concentrations de  $\text{CaCl}_2$  :

Dissoudre de sel dans l'eau distillée puis verser le contenu dans une fiole et la remplir jusqu'au trait de jauge (500 ml) et fermer la fiole avec un bouchon et la couvrir avec l'aluminium puis étiqueter les fioles.

- **Pour le silicate de sodium:** (à 0,6; 0,9 g/L) (pinheiro *et al.*, 2022).

Nous avons procédé par les mêmes étapes pour toutes les différentes solutions préparées :

Dissoudre les différentes concentrations de silicate de sodium (Si) dans l'eau distillée. Cette solution à mise à l'agitation jusqu'à la dilution totale de silicium et l'obtention d'une solution homogène.

## **1.2. Préparation des graines :**

### **1.2.1. Tri des graines :**

Nous avons trié les graines manuellement, en éliminant toutes celles qui présentent des signes d'attaque des insectes (graines abimées ou trouées).



**Figure 04 :** les graines de *Pisum Sativum* L. variété (Sefrou) proviennent de la récolte de 2022.

### **1.2.2. Désinfection des graines :**

Désinfection des graines avec l'eau de javel diluée de concentration 4% de chlore diluée pour aller jusqu'au 1% sachant que la quantité désirée 400ml.

**1.2.3. Scarification des graines :**

Afin d'éviter d'éventuelle dormances tégumentaires, nous avons gratté les graines l'égerment à l'aide du papier absorbant.

**1.2.4. Pré imbibition :**

Après la désinfection des graines, ces derniers sont mis dans l'eau distillée pendant 10minutes et rincer avec l'eau distillée 3fois.

Filtrage des graines avec la passoire.

**1.3 .mise en germination :**

- Les graines sont mises dans des boites de pétri en plastiques, tapissées de deux couche de papier absorbant à raison de vingt graines de *Pisum sativum* L. par boite, le nombre de répétition est de 5; ce qui fait par conséquent 100 graines par traitement (20graines ×5 boites).
- L'arrosage des graines est réalisé par 15 ml de chaque solution (CaCl<sub>2</sub> ; Si ; CaCl<sub>2</sub>× Si) préparé à des concentrations correspondante :

CaCl<sub>2</sub>: 32 g/L; 40g/L; 48g/L

Si : 0.6g/L ; 0.9g/L

La combinaison : (32g/L ×0.6); (32g/L ×0.9g/L) ; (40g/L×0.6) ; (40g/L×0.9g/L) ; (48g/L×0.6g/L) ; (48g/L×0.9g/L).

- Les graines de boites de pétri considérées comme témoins ont été arrosées à l'eau distillée avec le même volume et la fréquence que les précédentes.
- Les graines ont été ensuite mises dans l'étuve réglée à une température de 20°C correspondant à la température propice à la germination de cette espèce. L'arrosage des graines est de deux fois par semaines.
- Afin de suivre la germination des graines dans ces différentes conditions de stress salin et voire l'effet de si seul et en combinaison avec de différentes concentrations de CaCl<sub>2</sub>.

**1.4. Paramètre mesurés :**

- Nous avons procédé au comptage quotidien du nombre de graines germées durant une période de 10 jours.
- Nous avons ainsi calculé les différents paramètres de germination telle que le taux de germination final %, ainsi que le paramètre de croissance des plantules tel que la longueur des plantules de la partie aérienne et la partie racinaire et leur poids frais (biomasse).
- La longueur des plantules issues des graines germées était mesurée à l'aide d'une règle graduée CM.

**1.4.1 Taux de germination final (TG%) :**

Ainsi selon (mazliak, 1982), il est exprimé par le pourcentage de germination maximal ainsi qu'il correspond au nombre des graines germées par rapport au nombre totale de graines, Il est exprimé en pourcentage calculé avec la loi suivante :

$$TG\% = (\text{nombre de graines germés} * 100) / \text{nombre totale des graines}$$

**1.4.2. Cinétique de germination :**

Il s'agit de calculer chaque jour le taux de germination sous les différentes concentrations salins et de silicate de sodium seul et combinée, Elle est exprimée par le nombre de graines germées pour chaque jour après le début de l'expérience.

C'est un paramètre qui permet de mieux appréhender la signification écologique du comportement germinatif des variétés étudiés ainsi que l'ensemble des événements qui commencent par l'étape d'absorption de l'eau par la graine et se terminent par l'élongation de l'axe embryonnaire et l'émergence de la racicule.

**1.4.3. Détermination des longueurs de la tige et de la racine principales des plantules :**

La longueur de ces deux organes des plantules a été mesurée avec une règle graduée à la fin de la durée de la germination.

**1.4.4. Détermination du poids frais des plantules :**

A la fin de germination les plantules sont pesées avec une balance de précision pour estimer le poids de la matière fraîche.

**III- Analyse statistique :**

Pour traiter nos résultats, on a procédé à l'analyse par le logiciel R. nous avons appliqué aux résultats obtenus le test de Kruskal-walis puisque il n'y a pas une conformité des résultats à la loi normale.

# **Chapitre III**

## **Résultats et discussions**

## I. Effet de stress salin provoqué par $\text{CaCl}_2$ et de silicate de sodium seul et combinée sur la germination des graines de *Pisum sativum* L.

### I.1. Effet du stress salin provoqué par $\text{CaCl}_2$ et de silicate de sodium seul et combinée sur la cinétique de germination des graines de *Pisum sativum* L.

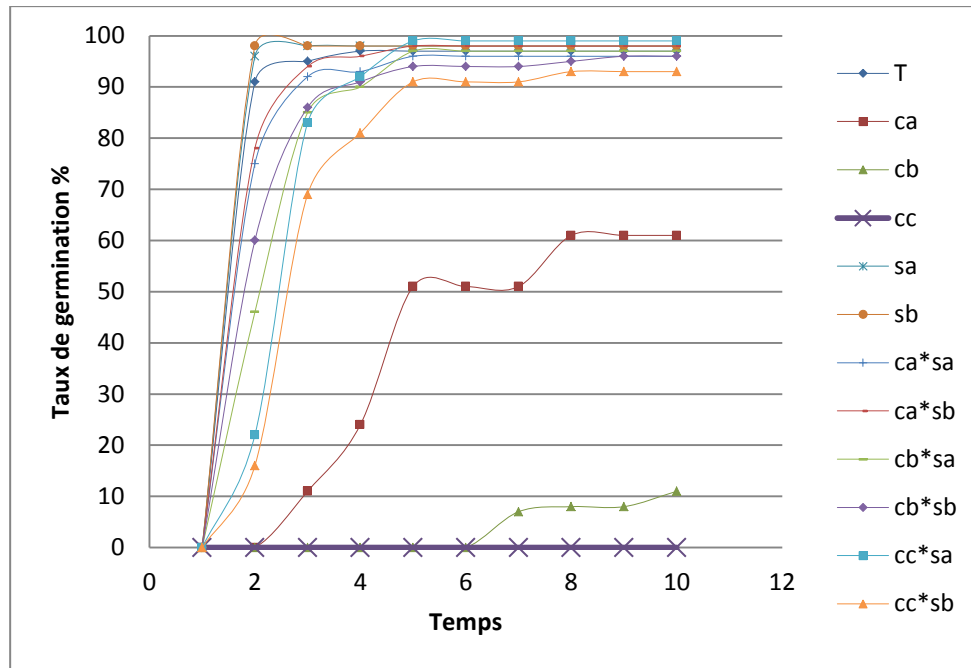
La courbe illustrant la cinétique de germination des graines de *Pisum sativum* L.

Sous l'effet des concentrations croissantes de  $\text{CaCl}_2$  et silicate de sodium seul et combinée, montre trois phases différentes (figure 05) :

**-une première phase :** de latence, nécessaire pour une imbibition adéquate des graines, prend une durée de deux jours au maximum.

**-une deuxième phase :** durant laquelle les taux de germination augmentent jusqu'à atteindre la valeur maximale. Le taux de germination le plus élevée, qui est de 99% est obtenu par le (T ,sa ,Sb, ca\*sa , ca\*Sb ,cb\*sa ,cb\*Sb , cc\*sa , cc\*Sb) au bout du 4ème jour .le TG diminue de plus en plus à mesure de l'augmentation du stress ( 32 g/L , 40g/L , 48 g/L de  $\text{CaCl}_2$  ) ainsi ce stress effectué pour les graines à induit un retard de germination par rapport aux autres traitements, pour le ca on constate un retard de trois jour par rapport au témoin , et la concentration cb à un décalage de 7 jour et tandis que le cc subit une inhibition totale de germination.

**-Une troisième phase :** constante caractérisée par des taux de germination stable à partir de 5ème jour jusqu'au 10ème jour pour les traitements, sauf celle qui est traité par différentes concertations de sel.



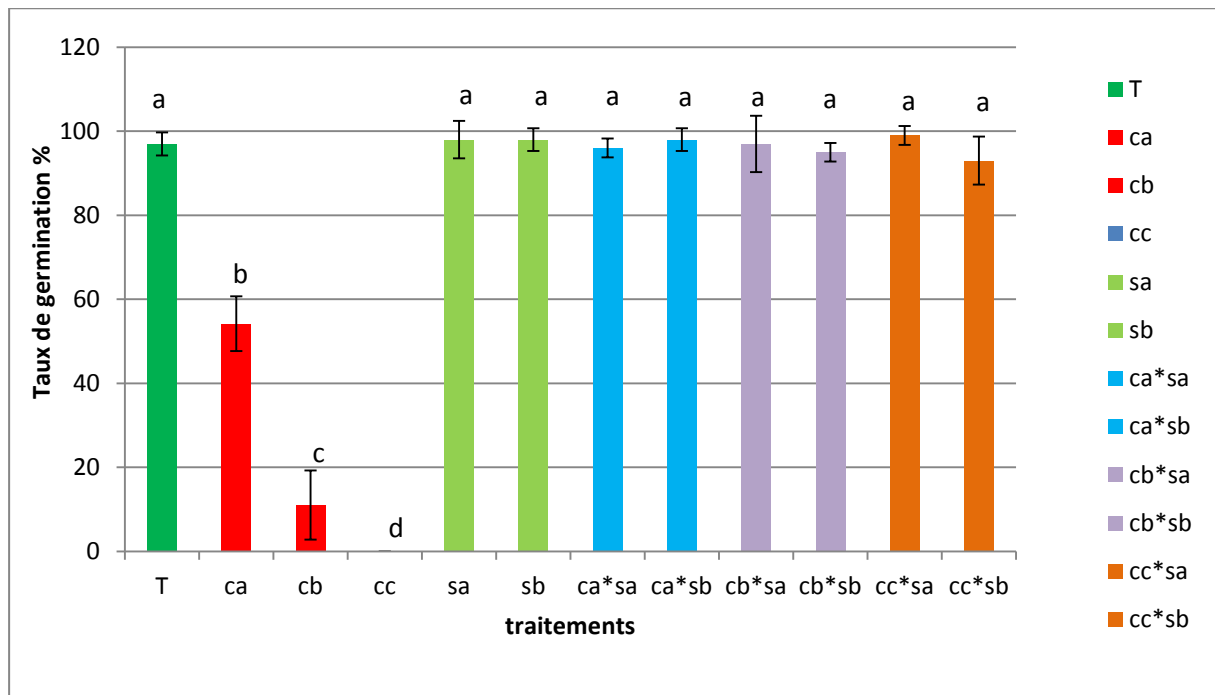
**T:** témoin ; **ca :** CaCl<sub>2</sub> (32g/L) ; **cb :** CaCl<sub>2</sub> (40g/L); **cc :** CaCl<sub>2</sub> (48g/L); **sa :** silicium (0,6g/L); **Sb:** silicium (0,9g/L).

**Figure 05:** Effet du stress salin provoqué par CaCl<sub>2</sub> et de silicate de sodium seul et combiné sur la cinétique de germination des graines de *Pisum sativum* L.

### I.2.Effet de différentes concentrations de sels et de silicate de sodium seul et combinée sur le taux de germination des graines de *Pisum sativum* L :

Le taux germinatif de *Pisum sativum* L. de la variété « Sefrou », obtenus après 10 jours de mise en germination est représenté dans la (figure 06). L'analyse statistique a montré une différence très hautement significatif entre les différentes concentrations de CaCl<sub>2</sub>. En effet le taux le plus élevé est enregistré dans le lot témoin avec un taux de 97% (représenté par le groupe « a»). Nous remarquons une diminution de plus en plus importante suivant l'augmentation de la concentration de la solution de CaCl<sub>2</sub>. En effet, sous une contrainte saline exercée par une solution de 32g/L (groupe b), la capacité germinative a chuté de environ 41%, le taux de réduction atteint un seuil maximal de 100% correspondant une inhibition totale de la germination pour le lot de graine arrosée avec la solution de 48g/L de CaCl<sub>2</sub> (groupe d). L'apport de silicate de sodium à induit une amélioration de la capacité germinative des graines. En effet face aux différentes solutions de silicate de sodium seule et combinées aux différentes concentrations salines (sa, sb, ca\*sa,ca\*sb, cb\*sa, cb\*sb, cc\*sa, cc\*sb) les résultats montrent une augmentation statistiquement significative atteignant les

valeurs du lot témoin (groupe homogène a) par conséquent le silicium annule l'effet du stress salin.



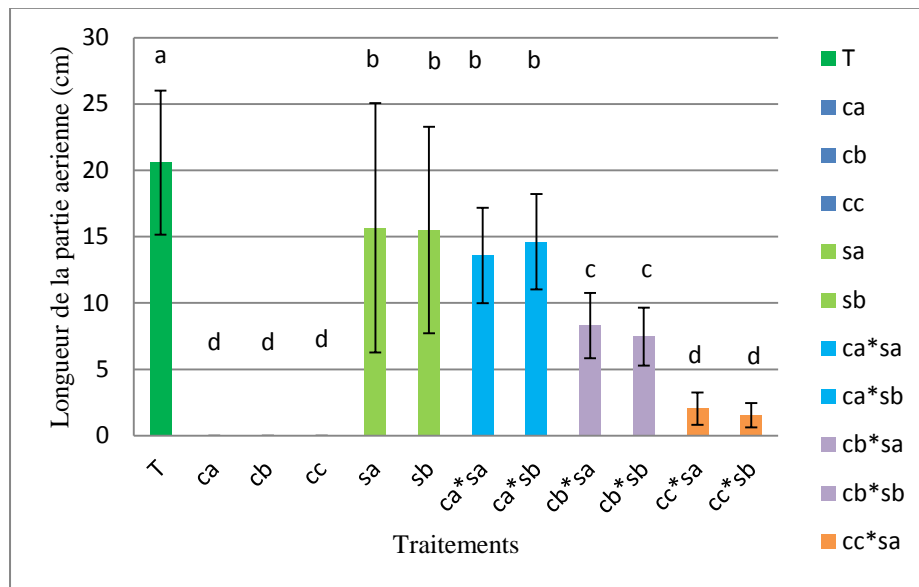
**T** :témoin ; **ca**:  $\text{CaCl}_2$ (32g/L) ; **cb**:  $\text{CaCl}_2$ (40g/L) ; **cc**:  $\text{CaCl}_2$ (48g/L) ; **sa**: silicium(0,6g/L) ; **Sb** :silicium(0,9g/L).

**Figure 06** : Effets de différentes concentrations de sel et de silicate de sodium seul et combinée sur le taux de germination *Pisum sativum* L.

### I.2.1.Effet de différentes concentrations de sels et de silicate de sodium seul et combinée sur la longueur de la partie aérienne des plantules de *Pisum sativum* L.:

La longueur de la partie aérienne de *Pisum sativum* L. de la variété « Sefrou » obtenus après 10 jours de mise en germination est représenté dans (la figure 07), l'analyse statistique de nos résultats a révélé un effet statistiquement significatif ( $p < 0,001$ ) en effet, ces résultats ont été répartie sur cinq groupes homogènes la plus grande hauteur moyenne a été enregistrée chez les graines témoins. Suivie par des plantules issues des graines arrosées avec la solution nutritives alternées avec les solutions silicate de sodium avec les deux concentrations testées (0,6 et 0,9) ainsi qu'avec celles arrosées avec la solution nutritives complétés par les solutions combinées de silicate de sodium+ la solution de  $\text{CaCl}_2$  à 32g/L regroupée par le test statistique dans le groupe homogène « b ». Le groupe homogène « C » renferme des graines arrosées avec les solutions combinées des deux concentrations de silicate de sodium

combinées à la concentration de sel de 40g/L, ces traitement ont montré une chute de la longueur de la partie aérienne des plantules de 31,31%, suivie par une forte diminution de la longueur de la tiges est enregistrée avec la combinaison entre le silicium et la dose de 48g/L avec les graines traitée avec les différentes concentrations de sel sont considéré statistiquement identiques d'ailleurs sont classée dans le même groupe homogène « d ».

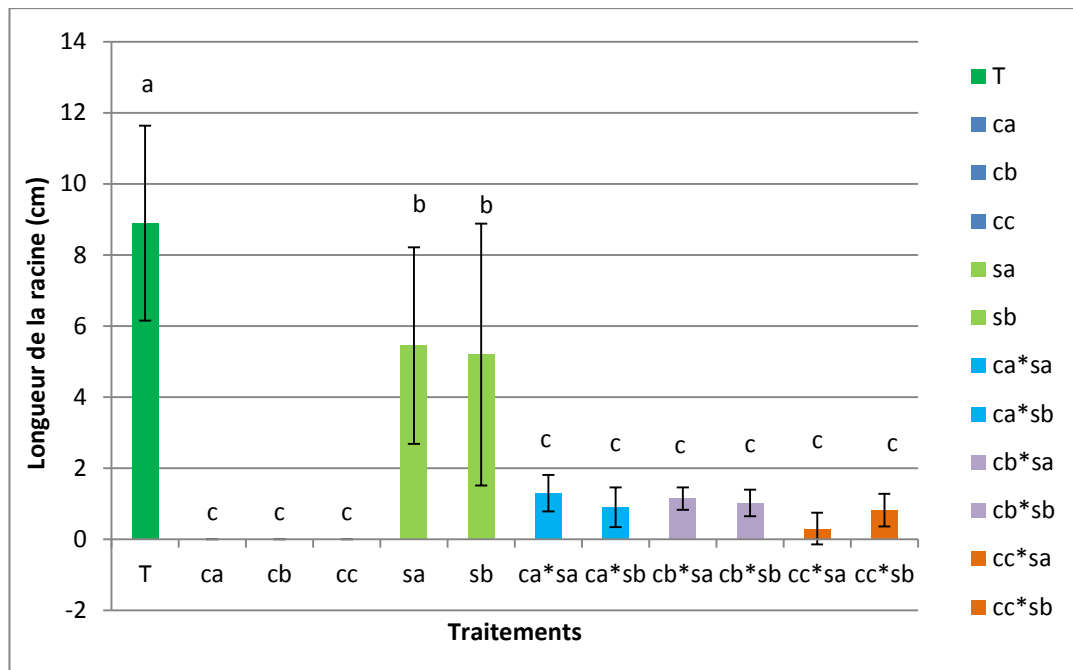


**T** :témoin ; **ca** :CaCl<sub>2</sub>(32g/L) ; **cb**: CaCl<sub>2</sub>(40g/L) ; **cc**: CaCl<sub>2</sub>(48g/L) ; **sa** :silicium(0,6g/L) ; **Sb** :silicium(0,9g/L) .

**Figure 07** : Effets de différentes concentrations de sel et de silicate de sodium seul et Combinée sur la longueur de la partie aérienne des plantules de *Pisum sativum* L.

**I.2.2.Effet de différentes concentrations de sels et de silicate de sodium seul et combinée sur la partie racinaire des plantules de *Pisum sativum* L. :**

La partie racinaire de *Pisum sativum* L .de la variété « Sefrou », obtenus après 10 jours de mise en germination est représenté dans( la figure 08), l'analyse statistique a révélé que les différentes concentrations de sels et de silicate de sodium et les combinés ont enregistré une différence très hautement significative (p < 0,001) le lot témoin à montrer, une racine plus longue des plantules avec une moyenne de 8,9 cm regroupé dans le groupe « a » le test statistique à révéler une diminution de 40% par rapport aux témoin chez les graines traitées avec le silicium uniquement (groupe b). Le reste des traitements sont regroupée par le test statistique dans le groupe « c » dont la longueur de la racine est nulle ou presque.



**T** :témoin ; **ca** :CaCl<sub>2</sub>(32g/L) ; **cb**: CaCl<sub>2</sub>(40g/L ; **cc**: CaCl<sub>2</sub>(48g/L) ; **sa** :silicium(0,6g/L) ; **sb** :silicium(0,9g/L).

**Figure 08** : Effets de différentes concentrations de sel et de silicate de sodium seul et combinée sur la partie racinaire des plantules de *Pisum sativum* L.

### I.2.3.Effet de différentes concentrations de sels et de silicate de sodium seul et combinée sur la biomasse des plantules de *Pisum sativum* L. :

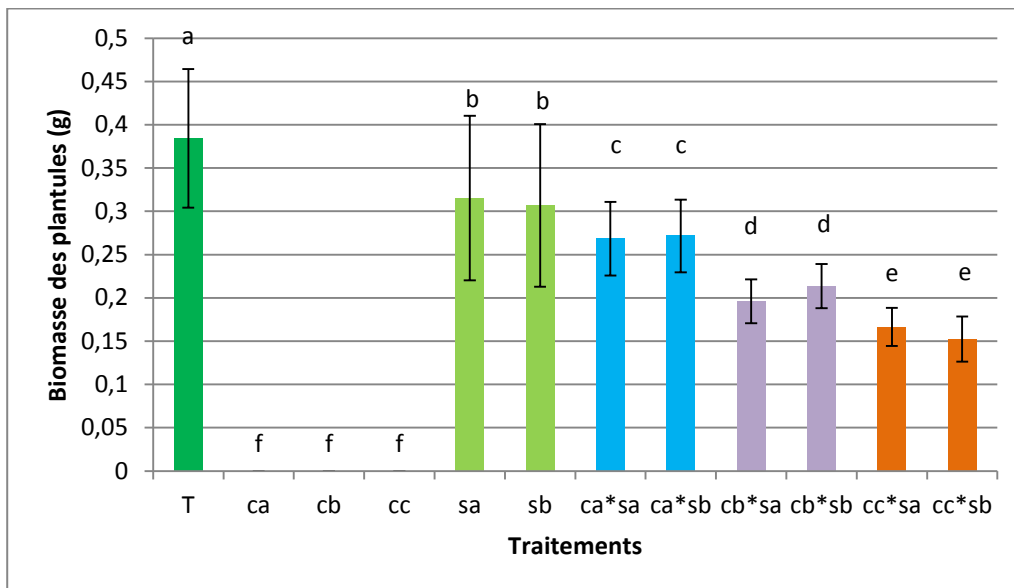
Les valeurs de La biomasse des plantules de *Pisum sativum* L. de la variété Sefrou, obtenues après 10 jours de mise en germination sont représentés dans (la figure 09), l'analyse statistique a révélé que les différentes concentrations de sels et de silicate de sodium et les combinés ont enregistré une différence très hautement significative ( $p < 0,001$ ) par rapport au témoin.

Selon l'analyse statistique les valeurs obtenues sont classé en six groupes homogène « a », « b », « c » « d », « e », « f ». On remarque que la plus grande valeur de la biomasse de la plantule a été enregistré chez le témoin n'ayant pas subi de stress représenté dans le groupe homogène « a » avec 384,4 mg. Les résultats des graines arrosées avec la solution de sels uniquement (sans silicium) pour lesquelles les graines ont arrêté leur germination à l'apparition de radicule, et ainsi l'émergence de hypocotyle et la croissance et aussi bloquée représenté dans le groupe homogène « f ». Dans le cas des graines arrosées avec des solutions

combinées de silicium et de sels de  $\text{CaCl}_2$  le taux de réduction des résultats de la biomasse est plus faible, par exemple cette diminution n'est que de 45% pour le traitement cb, sb.

Ainsi représenté dans trois groupes homogènes « c » « d » « e » nous remarquons une réduction représentés successivement avec ses valeurs : 31,58%,45%,60 ,53%.

Cependant le groupe homogène « b » regroupe les plantules traité avec le silicate de sodium qui a présenté une faible réduction avec 21,06%.



**T** :témoin ; **ca** : $\text{CaCl}_2$ (32g/L) ; **cb**:  $\text{CaCl}_2$ (40g/L) ; **cc**:  $\text{CaCl}_2$ (48g/L) ; **sa** :silicium(0,6g/L) ;  
**sb** :silicium(0,9g/L).

**Figure 09** : Effet de différentes concentrations de sels et de silicate de sodium seul et combinée sur la biomasse des plantules de *Pisum sativum* L.

## II. Discussion :

Notre travail a pour objectif d'estimer l'effet du  $\text{CaCl}_2$  avec des concentrations de 32 g/L, 40 g/L, 48g/L. Nous avons évalué différents paramètres de germination et du début de germination des graines du pois fourrager (*Pisum sativum* L.) pour se faire, nous avons opté pour l'étude de l'effet du silicium et suivre son effet sur le comportement des plantules dans les trois concentrations de  $\text{CaCl}_2$ .

Nos résultats ont révélé que le silicium à améliorer les différents paramètres de germination et de début de croissance (taux de germination, production de la biomasse, longueur aérienne et racinaire des plantules) sous trois concentrations de  $\text{CaCl}_2$ .

Ce résultat corroborent ceux de plusieurs auteurs sur une panoplie d'espèces telles que (Chaffai, 2017) et (Chakroun *et al.*, 2016) sur la tomate ; (Nafarrate *et al.*, 2022) sur le maïs, Al Murad et Muneer (2022) sur le haricot.

En effet, nous avons trouvé que le traitement aux deux concentrations de silicate de sodium a amélioré la capacité germinative des lots stressés jusqu'à atteindre le taux de germination des graines témoins à l'opposé les graines soumises à la germination dans le milieu salin enregistrent le plus faible taux de germination.

Cette constatation a été également notée par Haghghi *et al.* (2012) sur les graines de tomate soumises à deux doses de NaCl.

L'augmentation de l'épaississement des parois des tiges des plantes notamment chez le riz et le blé confère à ces plantes une meilleure résistance aux contraintes environnementales et une bonne productivité même sous des conditions contraignante.

En plus des paramètres de germination, nous avons également noté dans se présent travail que la dose de 48 g/L de chlorure de calcium est limitant pour cette espèce *Pisum sativum* L. variété « sefrou ».

Nous avons ainsi relevée que les graines traitées avec les trois doses de chlorure de calcium (32, 40 et 48g/L) arrêtent leur croissance juste à l'apparition de la racicule. Cependant ces mêmes graines arrosées avec les solutions des deux concentrations de silicate de sodium trouvent leurs paramètres de croissance augmenté. Notamment la longueur de la partie aérienne et la biomasse des plantules avec une proportion de 86% et 51%.

En effet, (Haghighi *et al.*, 2012), a signalé sur les graines de tomate en germination. Cet auteur a obtenu une augmentation de 100% avec l'application du silicate de sodium.

En plus des paramètres de germination et de croissance, les travaux de recherche réalisés sur une panoplie d'espèces végétales ont montré le rôle du Si sur des paramètres physiologiques et biochimiques.

Le Si renforce la tolérance à la salinité par la stimulation de la synthèse des osmoticum notamment la proline et des enzymes antioxydant qui atténuent les effets des espèces réactives d'oxygènes (ROS) comme la Super Oxyde Dismutase (SOD) et la Catalase.

Les effets de la salinité sur l'intégrité membranaire pourraient expliquer l'impact sur l'assimilation photosynthétique et par conséquent sur la croissance et le développement de la plante. El Banna et Abdelaal (2018) ; Sharma et Singh (2015) ont démontré le rétablissement de l'homéostasie de l'alimentation minérale par une inhibition de l'absorption des ions toxique de  $\text{Na}^+$  et une augmentation de l'absorption des ions  $\text{K}^+$ . Ce qui contribue à rééquilibré le statue hydrique cellulaire et la réduction de la fuite d'électrolytes des membranes biologique.

Les données bibliographiques ont bien montré que le Si a réduit l'intensité du stress oxydant engendré par les différents stress abiotiques en ralentissant la synthèses de certains composés indicateurs de l'activité oxydante tell que tel que le malondialdéhyde et le peroxyde d'hydrogène. Ceci peut s'expliqué par l'allègement des effets des contraintes environnementales sur la physiologie des plantes.

# Conclusion

### Conclusion

Le silicium est considéré comme un élément qui peut aider les plantes à mieux faire face aux conditions salines grâce à ses multiples voies, mécanique, physiologiques et biochimiques en renforçant leur résistance et leur capacité à absorber l'eau et les nutriments nécessaires à leur croissance. Notre étude est menée dans le but d'estimer l'effet bénéfique de silicate de sodium pour atténuer les dommages causée par la salinité sur le pois fourrager (*Pisum sativum* L.) variété « Sefrou » qui est considéré comme une légumineuse à intérêt a écologiques, fourragères très intéressantes.

L'analyse de la variance des résultats montre une grande sensibilité à la salinité au stade de la germination tenant compte de l'ensemble des paramètres de germination étudiée, ils se démontrent que le taux de germination est sévèrement affecté par la salinité, surtout à la forte concentration testée (48g/L). Néanmoins, l'apport du silicate de sodium à fortement améliorée ces paramètres en présence de  $\text{CaCl}_2$ .

Cependant, Nous avons enregistré une diminution significative de la germination à partir de la concentration 32g/L de  $\text{CaCl}_2$ , celle-ci décroît jusqu'à s'inhiber totalement à la concentration de 48 g/L de  $\text{CaCl}_2$ .

Concernant l'influence de silicate de sodium sur les paramètres de croissance ; nous avons enregistré une amélioration des mesures de la longueur de l'hypocotyle et à moindre degré la racicule ainsi que sur la biomasse des plantules.

Nous avons enregistré ces effets bénéfiques pour les deux concentrations testées (0.6 et 0.9 g/L). Pour *Pisum sativum* L. les deux concentrations 32 g/L et 40 g/L de  $\text{CaCl}_2$  semblent limites pour la capacité germinative induisant l'arrêt du processus à l'apparition de la racicule et l'inhibition complète à la dose maximale testée de 48 g/L de  $\text{CaCl}_2$ .

Dans une perspective future, il serait intéressant d' :

- Approfondir la recherche sur les mécanismes d'absorption, de transport et d'accumulation de silicium par les systèmes racinaires des plantes.
- Evaluer les effets à long terme de silicium sur les cultures en (sur toutes les phases phénologique du biocycle des plantes) étudiant sur le terrain les concentrations

appropriées de silicium à utiliser, ainsi que la fréquence optimal d'application lors des cycles de culture.

- Recommander et intégrée le silicium dans la formulation des engrais en raison de ses multiples propriétés bénéfiques pour les plantes.
- D'après les prospections effectués sur notre espèce on propose d'autre étude dans ce contexte « l'effet de silicium pour atténuer les dommages causés par la salinité soit en changeant l'espèce ou bien utiliser d'autre concentration de sel, ils peuvent aussi tester d'autres concentrations de silicium et son interaction avec d'autre sel pour le but de savoir si le silicium va contribuer d'une manière positive ou pas.

# **Références bibliographiques**

### Références bibliographiques

- **Abbes k., 2018.** "Pois - triticales" : un fourrage prometteur pour sécuriser les systèmes d'élevage des zones céréalières semi-arides d'Algérie. Journées AFPP – Concilier productivité et autonomie en valorisant la prairie – 21-22 Mars 2018.

-**Abdelguerfi A., 2003.** Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités Nécessaires à la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité importante pour L'agriculture. *Rapport de Synthèse sur « La Biodiversité Importante pour l'Agriculture enAlgérie »*.MATE-GEF/PNUD : Projet ALG/97/G31 Tome IX.

-**Abdelguerfi A., laouar M., M'Hammedibouzina M., 2008.** Les productions fourragères et pastorales en Algérie : Situation et possibilités d'amélioration. *Semestrielle Agriculture & développement*. (INVA, Alger), 6 :14-25.

-**Achour A., Bidai Y., and Belkhoudja M., 2015.** L'impact de la salinité sur le comportement hydrique et métabolique d'une variété de Gombo *Abelmoschuse sculentus* L. *international journal of innovation and appliedstudies* 12(4): 943-953.<http://www.ijias.issr-journals.org/>

-**Acikbas S., MA Ozyazici., H Bektas., 2021.** Effet de la salinité sur l'architecture racinaire du pois fourrager (*Pisum sativum* SSP. Arvense L. *Indian jornal* .44(4):407-412.

-**AL Murad M. and Muneer S., 2022.** Silicon supplementation Modulates physiochemical characteristics to balance and ameliorate salinity stress in Mung Bean. *Front. Plant. Sci.*13 :810991.doi: 10. 3389/fpls. 810991.

-**Alayat A., 2015.** Etude de l'Impact Toxicologique de Certains Agents Chimiques sur La Qualité des Céréales : cas du Blé et de l'Orge, Thèse de doctorat, Université BADJI MOKHTAR – Annaba: 67.

-**Ali W., Amira M S., Qados A., 2011.** Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant vicia faba (L.) *journal of Saudi society*.

## Références Bibliographiques

---

- Amara N., Benrima A., 2017.** Salt Stress Effects on Growth Development of Coriander *Coriandrum sativum* L. *Agrobiologia* 7 (1): 203-209. [http://agrobiologia.net/online/wp-content/uploads/2017/07/203-209\\_amara-ET-benrima.pdf](http://agrobiologia.net/online/wp-content/uploads/2017/07/203-209_amara-ET-benrima.pdf).
- Ashraf M., and Foolad M R., 2007.** Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp.Bot.* 59(2):206-216.[doi:10.1016/j.envexpbot.2005.12.006](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006).
- Ashraf M., Harris P., 2013.** Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica.* 51:163–190.
- Bélanger RR., Bowen PA., Ehret DL. Menzies JG., 1995.** Soluble silicon, its role in Crops and disease management of greenhouse crops. *Plant Dis.* 79: 329-336.
- Belkhoudja M., Bidai Y., 2004.** La réponse des graines d'*Artiplexhalimus* L. à la salinité au stade de la germination, *Science et changements planétaires/Sécheresse.* 15(4) :331-335.
- Ben Khaled L., Gómez A., Honrubia M., Oihabi A., 2003.** Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium. *Agronomie* 23(7) :553-560.
- Benidire L., Daoui K., Fatemi Z A., Achouak w., Bourab., Oufdou K., 2015.** Effet de stress sur la germination des plantules de *Vicia faba* L. « effect of salt stress on germination and seedling of vicia faba L. ». *journal of materials and environmental science.* 6(3) :840-851.
- Benoît M., Deffontaines J P., Lardon S., 2006.** Acteurs et territoires locaux. Vers une géoagronomie de l'aménagement. *Collection Savoir-Faire, Inra.*
- Bouda S., Haddioui A., 2011.** Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Artiplex*. *Nature Et Technologie.* 5:72-79.
- Bouzoubaâ Z., Ait Lhaj A., Mimouni A., 2009.** Le silicium ; levier minéral Indispensable pour une agriculture durable du Maroc, Symposium international.
- Brun A., 1981.** Mise au point bibliographique concernant l'étude des effets de la salinité sur
- Chaffai G., 2017.** Etude de l'Effet d'Atténuation du Stress Salin Par Application du Silicium sur un Modèle Biologique Alternatif : le blé. Mémoire de fin d'étude. Université Larbi Tebessi: 50.

- Chakroun S W., Gautier H., Mimouni H., Nsaïri A., Medyouni I., Naimi W., Ben Ahmed H., 2016. Le silicium et ses effets protecteurs sur les plantes exposées à la contrainte saline. 721-725.
- Cherifi K, Anagri A., Boufous El-H., and El Moussadik A., 2017. Effect of sodium chloride (NaCl) on the growth of six Acacia species. *Journal américain de la recherche innovante et des sciences appliquées*.4(4): 105-113.
- Day D A., poole P., Tyerman S., Rosendahl L., 2001. Ammonia and amino acid transport across symbiotic membranes in nitrogen-fixing legume nodules. *CMLS, Cell. Life Sci.* 58:61-71.<http://doi.org/10.1007/PL00000778>.
- Debona D., Rodrigues F A., And Datnoff E., 2017. Silicon's Role in Abiotic and Biotic plant Stresses. *Annual Review of phytopathology*.55:85-107.
- Denhartigh C., Metayer N., Martin S., Scarsi F., Llaser S., Loquet M., Dameron V., 2015. Diagnostic des filières de légumineuses à destination de l'alimentation humaine en France. Intérêt environnemental et perspectives de développement. *Réseau action climat France*.53.Ed., Paris, Collection Méthodes. 465.
- ElBanna M F., Abdelaal K A A., 2018. Response of strawberry plants grown in the hydroponic system to pretreatment with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> before exposure to salinity stress. *Jornal of plant production*. 9(12): 989-1001.
- El-Ramady. H., Alshaal. T., Elhawat. N., Ghazi. A., Elsakhawy. T., Omara A El-D., El-Nahrawy. S., Elmahrouk. M., Abdalla. N., Domokos-Szabolcsy. É. Schnug E., 2018. Plant Nutrients and Their Roles under Saline Soil Conditions. 297- 314.  
[http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-06118-0\\_4](http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-06118-0_4)
- Elzebroek T., Wind K., 2008. Guide to cultivated plants. CAB International, oxfordshir , UK, enzymology. *New York; Academic press.* (1):149-158.
- Epstein E. 1999. Silicon. *Annu. Rev. Plant Molecular Biology*.50, 641-644.
- Haghighi M., Afifipour Z., Mozafarian., M., 2012. The alleviation effect of silicon on seed germination and seedling growth of tomatoundersalinity stress. *Vegetable cropsresearch bulletin*.76:119-126.[DOI: 10.2478/v10032-012-0008-Z](https://doi.org/10.2478/v10032-012-0008-Z).

- Hanana M., Hamrouni. L C O., Blumwald E., 2011.** Mécanismes et stratégies cellulaires tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes, *Environmental Reviews*, 19 :121-140. <https://doi.org/10.1139/a11-003>.
- Hanumantha Rao B., Nair R M., Nayyar H., 2016.** Salinity and high temperature tolerance in mungbean [Vignaradiata (L.) Wilczek] from a physiological perspective. *Front Plant Sci.* 7:957, <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.0095>.
- Haouala. F., Ferdjani. H., Ben El Hadj. S., 2007.** Effet de la salinité sur la repartition des cations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup>) et du chlore (Cl<sup>-</sup>) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie, Agronomie société et environnement/ Agronomy, Society and environment.* 11(3) :1780-4507. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3_2).
- Issolah R., 2018.** Diversité et valorisation des ressources fourragères en Algérie : cas des genres *Trifolium* L. et *Hedysarum* L. (Fabaceae). *Espèces fourragères et/ou pastorales.* 87-104.
- Kafi M., 2009.** The effects of salinity and light on photosynthesis, respiration and chlorophyll Fluorescence in salt-tolerant and salt-sensitive wheat (*Triticum aestivum* L.), cultivars. *J. Agric. Sci. Technol.* 11: 535–547.
- Kaya G., 2021.** La relation entre la vigueur des graines et les performances de germination sous divers sels de chlorure dans le pois. 44(7), 793-797.
- Kheloufi A., Chorfi A., Mansouri L M., Benyamina H., 2018.** Morpho-physiological characterization and photosynthetic pigment contents of acacia karroo hyne seedling under saline conditions. *Agriculture & Forestry.* 64(4): 87-99. Doi: [10.17707/AgricultForest.64.2/06](https://doi.org/10.17707/AgricultForest.64.2/06).
- Klein H-D., Rippstein G., Huguenin J., Toutain B., Guérin H., 2014.** Les cultures fourragères : 264. <http://library.Oapen.org/handle/20.500.12657/23942>.
- Kordrostami M., Rabiei B., 2019.** Salinity Stress Tolerance in Plants: Physiological, Molecular, and Biotechnological Approaches, in *Plant Abiotic Stress Tolerance*, 101- 127. [http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-06118-0\\_4](http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-06118-0_4).
- Lazali M., 2014.** Etude des mécanismes agro physiologiques et moléculaires d'adaptation à la déficience en phosphore chez la symbiose rhizobienne du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.). Thèse de doctorat en sciences agronomiques, ENSA-Alger : 152.

- Leclerc C F., 1999.** Écophysiologie végétale. Publication de l'université de saint etienne. 277 Les végétaux. *Ann. Fac. Sci.* 28: 59-84
- Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcuroy P., Delbart F C., 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahiers agricultures*, 4(4): 263-273(1) .<http://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/29899>.
- Liang Y, Chen Q, Liu Q, Zhang W, Ding R., 2003.**Exogenous silicon (Si) increases Antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *J. Plant Physiol.* 160:1157–1164.
- Mazliak P., 1982.** Croissance et développement. *Physiologie végétale II*. Hermann
- Mc Gee R., 2002.** USDA. ARS. Personal communication.
- McpheeK E., 2007.** Pea in Kole C., (eds) pulses, sugar and Tuber crops. Genome mapping and molecular breeding in plants.3: 33-47.[https://doi.org/10.1007/978-3-540-34516-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-540-34516-9_2).
- Michel CG., 2005.** Sols et environnement Dunod, Pris: 609; 612; 620.
- Mousa M A.,Al-Ourashi A D., Bakhawain A A., 2013.** Response of tomatogenotypes at early growing stages to irrigation water salinity. *J .Food.Ager.Environ.* 11:501-507.
- Nafarrate-Ramos D., Trejo-Tellez L I., Peralta-Sanchez M G., Tejada-Sartourous O., Alcantar-Gonzalez G., Gomez-Merinio F C., 2022.** Silicon increases seed weight and initial seedling growth of maize under non-stress conditions, and improves the index of velocity of germination under salt stress conditions. *NutulaeBotanicaeaHortiAgrobotanici Cluj-Napoca.* 50(4): 12948. <https://doi.org/10.15835/nbha50312948>.
- Okcu G., Kaya M D., Atar., M., 2005.** Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turk J Agric for.* 29: 237- 242.
- Ouafi L., Alane F., Rehal-Bouwiane H., Abdelguerfi A., 2016.**Diversité agromorphologiques au sein des génotypes de pois fourrager (*Pissum Sativum* L.).11(40) :4039-4047.
- Phillips J.R., Oliver M.J., Bartels D., 2002.** Molecular genetics of desiccation and tolerant systems. Dans *Desiccation and survival inplants: Drying without dying*. Sous la direction de M. Black ET H. Pritchard. CAB International, Mol. Gen. Genet. 319–341.

## Références Bibliographiques

---

- **Pinheiro P R., Nunes L R L., Pinheiro C I., Abnd HF., Torres SB., Dutra AS., 2022.** Potassium silicate as an inducer of abiotique stress resistance grain sorghum seeds. *Rev Ciência Agro.* 53:2021-8136.
- **Pointereau P., 2001.** Légumineuses : quels enjeux écologiques ? *Courrier de l'environnement de l'INRA n°44* : 69 -72.
- **Prioul S., Frankewitz A., Deriot G., Morin G., Baranger A., 2004.** Mapping of quantitative Traitlocie for resistance to Mycosopharellapino des in pea (*Pisum sativum*), at the seedling and Adult plant stage. *The or Appl Genet.* 108: 1322-1344. 4.
- **Piotr S., Giles N J., 2008.** Contrasting Responses of Photosynthesis to Salt Stress in the Glycophyte Arabidopsis and the Halophyte Thellungiella: Role of the Plastid Terminal Oxidase as an Alternative Electron Sink.  
<https://academic.oup.com/plphys/article/149/2/1154/6107832>.
- **Rizwan M., Ali S., Ibrahim M., Farid M., Adress M., Bharwana S. A., 2015.** Mécanisms of silicon- mediated alleviation of drought and salt stress in plants à review. *Environ. Sci-pollut. Res. Int.* 2215416-15431. [10. 1007/ s11356- 015-5305-x].
- **Sharma D K., Singh A., 2015.** Salinity research in india—achievements, challenges and future prospects. *Water and energy international.* 58(6):35-45.
- **Shavrukov. Y., 2013.** Salt stress or salt shock: which genes are we studying. *Journal of Experimental Botany.* 64(1):119127. <https://academic.oup.com/jxb/articlelookup/doi/10.1093/jxb/ers316>.
- **Shao H-B., Chu L-Y., Jaleel, C-A., Zhao C-X., 2008.** Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies.* 331(3) :215-225. [10.1016/j.crv.2008.01.002](https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.01.002).
- **Shrivastava P., Kumar R., 2015.** Soil salinity: a serious environmental issue and plant Growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi J. BiolSci.* 22:123 131.
- **Stacey G., Libault M., Brechenmacher L., Wan J., May G D., 2006.** Genetics and functional genomics of legume nodulation. *Current opinion in plant biology.* 9(2): 110-121.

## Références Bibliographiques

---

- Su J., Chen P L., Wu R., 1999.** Transgene expression of manitol-1-phosphate dehydrogenase enhanced the salt stress tolerance of the transgenic rice seedling. *Sci. Agric. Sin.* 32:101-103.
- Trung L D., 2020.** Comment les plantes supportent-elles un régime salé., <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/comment-plantes-supportentregime-sale/>.
- Yang. Y. et Yan. G. 2018.** Unraveling salt stress signaling in plants, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jipb.12689>.
- **Zaman M et Shahid Un S., Heng L., 2018.** Salinité des sols : perspectives historiques et aperçu mondial du problème. Dans : Lignes directrices pour l'évaluation, l'atténuation et l'adaptation de la salinité à l'aide de techniques nucléaires et connexes. Springer, cham.
- Zhen-hua Z., Qiang L., Hai-xing S., Xiang-min R., Ismail A M., 2012.** Responses of Different rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to salt stress and relation to carbohydrate Metabolism and chlorophyll content. *Afr J AgrRes.* 7:19–27.
- Zohary D., Hopf M., Weis E., 2012.** Domestication of plants in the old world. Ed oxford university press: 264.

## Résumé :

Notre travail est réalisé sur une espèce appartenant à la famille des légumineuses, à savoir le pois fourrager (*Pisum sativum* L.) variété « Sefrou ». C'est une espèce très appréciée comme fourrage vert, comme elle est aussi consommée chez certaines populations algériennes, ainsi cette espèce est considérée comme une plante sensible au stress salin. Nous avons étudié d'une part ; l'impact du  $\text{CaCl}_2$ , considéré comme un sel également très abondant dans les solutions du sol (notamment dans les sols calcaires) sur la germination et le début de croissance (post germination) des plantules de cette espèce; l'influence du silicium (sous forme du Silicate de Sodium) sur la réponse des graines à cette contrainte saline. Pour ce faire, nous avons mis en germination des graines de cette espèce dans trois concentrations de  $\text{CaCl}_2$  (32, 40, 48g/L). Pour cela 5 boîtes à raison de 20 graines par boîte ont été considérées pour chaque traitement. Des paramètres de germination (taux de germination journalier et final) ainsi certains paramètres de croissance ont été évalués après une période d'incubation de 10 jours à la température considérée comme optimale pour la germination de cette espèce. Nos résultats ont montré que la germination de cette espèce diminue avec l'augmentation de la concentration de  $\text{CaCl}_2$  jusqu'à s'atténuer complètement à la forte concentration de sel de 48g/L. D'après nos résultats, il s'avère que l'apport du silicium par ces deux concentrations testées (0.6 et 0.9g/L) à améliorer le taux de germination et les paramètres de croissance (longueur de la partie aérienne et racinaires des plantules et la biomasse des pousses). Le rôle du Si est ainsi confirmé pour l'espèce *Pisum sativum* L. Et la concentration de 48g/L est la limite maximale de cette espèce au stade germination. Nous avons préconisé de tester le rôle de cet élément face au NaCl et relevé d'autres limites tolérées par cette espèce et ce pour les différents stades repères de cycle biologique de cette espèce (pleine croissance, floraison, et stade de fructification).

**Mots clés :** *Pisum sativum* L., stress salin, silicate de sodium, la croissance, la germination, la biomasse, longueur aérienne, longueur racinaire.

## Abstract:

Our work is carried out on a species belonging to the family of legumes, namely the fodder pea (*Pisum sativum* L.) variety "Sefrou". It is a species very appreciated as green fodder, as it is also consumed by certain Algerian populations, thus this species is considered to be a plant sensitive to salt stress. We have studied on the one hand; the impact of  $\text{CaCl}_2$ , considered as a salt also very abundant in soil solutions (especially in calcareous soils) on the germination and the beginning of growth (post germination) of seedlings of this species; the influence of silicon (in the form of Sodium Silicate) on the response of seeds to this salt stress. To do this, we germinated seeds of this species in three concentrations of  $\text{CaCl}_2$  (32, 40, 48g/L). For this, 5 boxes with 20 seeds per box were considered for each treatment. Germination parameters (daily and final germination rate) and certain growth parameters were evaluated after an incubation period of 10 days at the temperature considered optimal for the germination of this species. Our results showed that the germination of this species decreases with increasing  $\text{CaCl}_2$  concentration until it completely attenuates at the high salt concentration of 48g/L. According to our results, it turns out that the contribution of silicon by these two concentrations tested (0.6 and 0.9g/L) to improve the rate of germination and the parameters of growth (length of the aerial part and roots of the seedlings and shoot biomass). The role of Si is thus confirmed for the species *Pisum sativum* L. And the concentration of 48g/L is the maximum limit for this species at the germination stage. We recommended testing the role of this element against NaCl and noted other limits tolerated by this species for the different stages of the biological cycle of this species (full growth, flowering, and fruiting stage).

**Key words:** *Pisum sativum* L., salt stress, sodium silicate, growth, germination, biomass, aerial length, roots length.