

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 Biochimie et Microbiologie**

## **Mémoire de fin d'étude**

En vue de l'obtention du diplôme de Master en sciences biotechnologique  
**Option : Biotechnologie végétale et valorisation des plantes**

**L'influence du silicate de sodium dans l'atténuation des effets du chlorure de sodium sur la germination des graines du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) variété HD**

**Présenté par :Melle** Khebouze Nadia      **Melle**DjemaiSarah

Soutenu le 02 /07/2024 devant le jury :

**Président :**Mr Limane k.

**Promoteur :**Mr Medjebeur Dj.

**Co-promotrice :** Makhloufi H.

**Examinatrice:**Daoudi .H

2023 – 2024

## *Remerciements*

*Nous remercions Allah de nous avoir donné, le courage, la patience, et la force pour réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre profonde reconnaissance à notre promoteur Monsieur Medjbeur Djamel, qui a accepté de nous encadrer, qui est un grand apport pour la réalisation de ce travail par ses conseils, sa compréhension, sa gentillesse, sa patience, ses encouragements, et sa disponibilité tout le long de l'exécution du travail.*

*Nous souhaitons adresser nos vifs remerciements aux membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail.*

*Nos remerciements à Mr Ferraguig N pour son aide ses conseils et sa disponibilité.*

*Nous tenons ainsi à remercier notre co-promotrice Mme Mekhloufi H pour son encouragement et son aide.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*



# Dédicace

## Je dédie ce modeste travail à :

À mon très cher papa tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

A la plus belle femme maman, ma raison de vivre en témoignage de ma reconnaissance pour sa patience son amour ses prières.

Que dieu vous protège

A vous mes chers frères Farid et Cherif, à toi ma princesse chère sœur Ghania  
Je vous souhaite une vie pleine de bonheur joies réussite et de santé.

A tous mes cousins et cousines.

A toutes mes amies Mima Dalila Saadia Baya Kahina Mbarka qui ont été toujours à mes côtés. Je vous aime.

A tous les membres de ma famille

A toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

Pour toi ma chérie Sarah tu a été plus qu'un simple binôme pour moi, merci pour tes efforts. Je t'aime



*Nadia*

## Dédicace

*J'ai le grand plaisir de dédier ce*

*Modeste travail :*

*A Mon très cher père Amar.*

*A la plus femme perle du monde, ma mère Ouiza.*

*A Mes charmantes soeurs (Maissa, Roumaissa) et Mes adorables frères (Aghilas, Dahman, Nouwar, Salim, Adel) à ma cousin Tinhinane.*

*Je leur souhaite tout le succès, tout le bonheur.*

*A toute ma famille, mes amis et pour mes proches, sans exception.*

*A toute personne qui m'a aidé à franchir un horizon dans ma vie.*

*A ma chère binôme et copine Nadia, je t'aime.*



**SARAH**

# SOMMAIRE

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
---------------------------	----------

## **Chapitre I :Synthèse bibliographique.**

1. Généralité sur le blé tendre.....	04
1.1.Importance économique du blé .....	04
1.1.1Dans le monde.....	04
1.1.2En Algérie .....	05
1.2. Classification .....	05
1.3. Morphologie du blé tendre .....	06
1.4. Cycle de développement .....	08
1.5. Exigence écologique du blé .....	09
1.6. Utilisation du blé.....	11
2. Germination.....	11
2.1. Définition .....	11
2.2. Conditions de la germination .....	12
3.Généralité sur la salinité.....	13
3.1. Définition de la salinité .....	13
3. 2. Effet de la salinité sur la germination.....	14
3.3. Effet de la croissance et le développement .....	18
3.4.Les mécanismes d'adaptation face au stress salin.....	18
4. Silicium .....	20
4.1. Le silicium dans le sol.....	20
4.2. Teneurs du silicium chez les plantes .....	21
4.3. Effet de silicium sur les plantes stressées à la salinité .....	21

## **Chapitre II : Matériel et méthode**

I. Matériel d'étude .....	20
1. Matériel utilisés .....	20
2. Matériel végétal .....	20
II. Méthodes d'étude .....	20
1. Protocole expérimentale .....	20
1.1. Préparation des solutions Saline.....	20
1.2. Préparation des solutions de silicate de sodium .....	20

1.3.Préparation des graines .....	21
1.3.1. Tri des graines .....	21
1. 3.2. Désinfection des graines .....	21
1.3.3 Pré imbibition .....	21
1.4. Mise en culture .....	21
2. Paramètre mesurés.....	21
2 .1 Cinétique de germination .....	21
2.2. Taux final de germination (TG%).....	22
2.3. Temps moyenne de germination (TMG) .....	22
2 .4. Mesure de la longueur de la tige des plantules.....	22
2.5. Mesure de la longueur de la racine .....	22
2.6. Mesure de labiomasse .....	22
3.Analyse statistique .....	22

### **Chapitre III :Résultats et discussion.**

I. Résultat .....	24
1.Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la cinétique de germination des plantules de blé tendre HD 1220.....	24
2.Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur le taux final de germination des plantules de blé tendre HD 1220 .....	26
3.Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur le temps moyen de germination des plantules de blé tendre HD 1220....	27
4.Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la longueur de la tige des plantules de blé tendre HD 1220.....	28
5.Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la longueur de la racine des plantules de blé tendre HD 1220.....	29
6.Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la biomasse des plantules de blé tendre HD 1220.....	31
Discussion .....	33
Conclusion .....	36
Référence bibliographique	
Résumé	
Abstract	

## Listes des figures

<b>Figure 01</b> : schéma représentant la morphologie de la plante blé tendre .....	07
<b>Figure 02</b> : anatomie du grain de blé tendre.....	10
<b>Figure 03</b> : Cycle végétal du blé (Fritas, 2012).....	12
<b>Figure 04</b> :: Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la cinétique de germination des plantules de blé tendre HD 1220 .....	23
<b>Figure 05</b> : Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur le taux final de germination des plantules de blé tendre HD 1220 .....	27
<b>Figure 06</b> :Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur le temps moyen de germination des plantules de blé tendre HD 1220.....	28
<b>Figure 07</b> :Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la longueur de la tige des plantules de blé tendre HD 1220.....	29
<b>Figure 8</b> :Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la longueur de la racine des plantules de blé tendre HD 1220.....	30
<b>Figure 9</b> :Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la biomasse des plantules de blé tendre HD 1220.....	32

## LISTE D'ABRÉVIATION

- ✓ **FAO**: Food and Agricultural Organization of United Nations (Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture).
- ✓ **ITGC** : l'Institut Technique Des Grandes Cultures.
- ✓ **CIC** : Conseil international des céréales.
- ✓ **TG%** : taux final de germination.
- ✓ **TMG** : Temps moyenne de germination.
- ✓ **HD** : Hidhab 1220.
- ✓ **NaCl** : chlorure de sodium.
- ✓ **Si** : silicate de sodium ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).
- ✓ **D0 +SI0** : témoin.
- ✓ **D0+SI2** : silicium (2 M).
- ✓ **D0+SI4**: silicium (4 M).
- ✓ **D3**: NaCl (3g/l).
- ✓ **D6**: NaCl (6g/l).
- ✓ **D9**: NaCl (9g /l).
- ✓ **D12**: NaCl (12g/l).
- ✓ **D15**: NaCl(15g/l).



# **Introduction générale**

### **Introduction**

Les produits céréaliers constituent la base de l'alimentation humaine dans la plupart des pays du monde, du fait qu'ils apportent la plus grande part des protéines de la ration alimentaire, les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien (Talamalil, 2000).

Les principales céréales sont représentées par le blé, l'orge, le maïs et le riz. Le blé occupe actuellement la première place dans la production mondiale des céréales (environ 40 %) et présente une importance nutritionnelle et économique considérable (Nour, 2020).

Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) représente 60% de la ration alimentaire du citoyen algérien, et ses habitudes alimentaires (pâte, biscuit, pain) font de lui un grand consommateur de cette denrée (Benbelkacem *et al.*, 1995).

La Salinité est un problème écologique croissant à l'échelle mondiale, étant reconnue comme un facteur prédominant de la dégradation des terres. Chaque minute, environ 10 hectares de terres cultivables sont perdues à travers le monde, dont 3 hectares sont directement attribuables à la salinisation (Chellali, 2007).

Les effets des sels, en particulier le NaCl, varient en fonction de leur concentration dans la solution du sol et du moment de leur exposition. Cependant, les réactions face à ce facteur sont étroitement liées aux caractéristiques des espèces voire même des variétés (Allen, 1995; Munns *et al.*, 2006).

L'amélioration de la tolérance à la salinité revêt une importance cruciale pour les cultures modérément sensibles telles que le blé, notamment lorsqu'elles sont cultivées sur des sols présentant des problèmes de salinité (Ashraf, 2002).

De nombreuses études ont montré que le Silicium améliore la résistance des plantes aux stress abiotiques et biotiques. (Menzies *et al.*, 1991; Liang *et al.*, 2005). Son application en tant que fertilisant a largement été utilisée dans le monde particulièrement en Asie. Son absorption, contribue à l'utilisation efficace de l'eau et des éléments minéraux. Par ailleurs; l'accumulation de cet élément au niveau des épidermes confère une rigidité et un soutien aux plantes notamment au niveau des tiges (prévention contre la verse), Cet élément contribue également à la protection contre les différentes contraintes environnementales (Lahav, 1995 ; Hodson *et al.*, 2005).

Vu l'importance de la phase de germination dans l'installation des cultures dans leur milieu, ainsi que leur développement ultérieur ; nous nous sommes proposés comme objectif de tester l'impact d'un prétraitement (priming) des graines de *Triticum aestivum* L variété HD

1220 silicate de sodium et suivre leur réponse aux différents degrés de salinité lors du processus de germination.

Ce mémoire est reparti en trois chapitres :

- ✓ Le premier chapitre consacré à une synthèse bibliographique sur *Triticum aestivum*L, traitant les notions de germination, de salinité et le rôle du Silicium dans la protection des plantes contre les stress biotiques et abiotiques;
- ✓ Le deuxième chapitre est dédié au matériel et méthode utilisées pour réalisation de notre travail.
- ✓ Le troisième chapitre consacré aux résultats obtenus suivis d'une discussion. Ce travail est finalisé par une conclusion générale.



# **Synthèse bibliographique**

## 1. Généralité sur blé tendre

Le blé tendre, qui appartient au genre *Triticum* et à l'espèce *aestivum* L. (également connue sous les synonymes *Triticum vulgare* selon Villars), constitue seulement l'une des nombreuses espèces présentes dans ce genre. Chaque espèce au sein du genre *Triticum* comprend un assortiment varié de variétés botaniques (Moule , 1971).

### 1.1. Importance économique du blé

#### 1.1.1 Dans le monde

Les céréales, telles que le blé dur et tendre, l'orge, le riz, etc, jouent un rôle essentiel en fournissant plus de la moitié des besoins énergétiques de l'humanité. Leur importance est cruciale sur la scène économique mondiale, les plaçant dans une position stratégique (Ben Mbarek et Boubaker, 2017).

Le blé se classe juste derrière le maïs en termes de production mondiale de céréales et prend la première place avant le riz en tant que principale source de nourriture pour les populations humaines. Il répond à environ 10% de leurs besoins énergétiques (Bajji, 1999).

Tous les pays du monde pratiquent la culture du blé. Selon les prévisions, la production mondiale totale de blé en 2019 atteint 767 millions de tonnes, représentant une augmentation de 5% par rapport à 2018 (FAO, 2019). Après la grande révolution agricole, les rendements du blé dur ont considérablement augmenté, mais sa part en termes de superficie et de production reste minime, représentant seulement 5% par rapport au blé tendre. En 2017/2018, la production mondiale de blé dur s'est élevée à 39 millions de tonnes, tandis que celle de blé tendre a atteint 712 millions de tonnes (CCI, 2018).

Les principaux producteurs mondiaux de blé, tels que l'Union européenne, la Chine, l'Inde, la Russie et les États-Unis, dominent la scène avec une part combinée de 70,51% de la production mondiale. Parmi les pays exportateurs, on retrouve les États-Unis, l'UE, le Canada, l'Australie et la Russie. En revanche, les grands importateurs incluent l'Égypte, le Brésil, l'Indonésie et l'Algérie (FAO, 2016)

### 1.1.2. En Algérie

Les céréales jouent un rôle crucial dans l'agriculture nationale, occupant environ 40% de la surface agricole utile, soit près de 3,3 millions d'hectares en 2011. Sur le plan spatial., le blé dur et l'orge représentent ensemble 80% de la superficie dédiée aux cultures céréalières(Madr, 2011).

La production de blé pour la période entre 2018 et 2019 a été estimée à 3,9 millions de tonnes, ce qui représente une augmentation de 1000 tonnes par rapport à l'année 2017-2018(FAO, 2019).

Les deux espèces les plus cultivées en Algérie sont le blé dur (*Triticum durum*) et le blé tendre (*Triticum aestivum*) (Feillet, 2000), Entre 2007 et 2012, la production totale de blé a été estimée à 15,33 millions de tonnes, avec une répartition de 70% pour le blé dur et de 30% pour le blé tendre. Selon la FAO (2017), Pour l'année 2017, les besoins d'importation de céréales en Algérie sont estimés à 13,6 millions de tonnes, plaçant ainsi le pays parmi les principaux importateurs mondiaux de blé tendre en particulier. En général., la production nationale de blé en Algérie au cours des années précédentes n'a pas été suffisante pour répondre aux besoins internes, ce qui a entraîné une dépendance accrue à l'importation (Benbelkacem , 2017).

### 1.2.Classification

Le blé tendre est une plante herbacée à une seule graine embryonnaire, appartenant au genre *Triticum* de la famille des graminées. Il s'agit d'une céréale dont le fruit sec et indéhiscents , constitué principalement, d'amidon,de protéines et de minéraux (Feillet, 2000) (figure 02).

Règne : *plantae*

Division : *Magnoliophyta*

Classe : *Liliopsoda*

Sous classe : *Commelinidae*

Ordre : *Poale*

Famille : *Poaceae*

Sous famille : *Triticeae*

Genre : *Triticum*

Espèce : *Triticum aestivum* L.(Feillet, 2000)



**Figure 02** : schéma représentant la morphologie de la plante blé tendre.

### **1.3.Morphologie du blé tendre**

#### **1.3.1. Appareils végétatif**

##### **1.3.1.1.Racines :**

Les racines du blé sont de type fasciculé, ce qui signifie qu'elles se présentent sous forme de faisceaux. Les racines primaires, également connues sous le nom de racines séminales, sont celles qui émergent directement de la graine lors de la germination et assurent la croissance initiale de la plantule jusqu'au stade de tallage. Ensuite, de nouvelles racines secondaires, appelées racines adventices, se forment à partir du plateau de tallage. Ces racines adventices émergent des nœuds à la base de la plante et deviennent le système racinaire permanent de plante, jouant un rôle essentiel dans l'absorption des nutriments et de l'eau du sol ainsi que dans le soutien structurel de la plante (Maamri, 2011).

##### **1.3.1.2.Tige :**

Elles sont des chaumes, caractérisées par leurs tiges cylindriques, souvent creuses, qui présentent des interruptions marquées par des nœuds. Au niveau de ces nœuds, de longues feuilles émergent, lesquelles enveloppent initialement la tige avant de s'étendre en un limbe étroit doté de nervures parallèles (Bebba, 2011). Au début de la montaison, elle développe son caractère en produisant entre 7 et 8 feuilles, ainsi que des bourgeons auxiliaires qui donnent naissance aux talles. Durant cette période, elle s'allonge de manière significative.

##### **1.3.1.3.Feuilles :**

Selon Soltner (1980), les feuilles de blé sont généralement longues et se composent de deux parties distinctes : une partie supérieure formée du limbe en forme de lame, et une partie inférieure appelée gaine qui s'enroule autour de la tige (Bachir Bey et al., 2015). Les feuilles sont disposées de manière alternée et présentent des nervures parallèles (Maamri, 2011) et (Benderradji, 2013). Le limbe des feuilles est généralement plat, mais au point d'attache de la gaine de la feuille, on observe une membrane mince et transparente appelée ligule, qui comporte deux petits appendices latéraux appelés oreillettes.

### **1.3.2. Appareil reproducteur**

#### **1.3.2.1. Fleurs :**

Les fleurs de blé sont regroupées en épillets qui se fixent à l'axe ou rachis de l'épi. Chaque épi peut comporter de 15 à 25 épillets, et chaque épillet contient de 3 à 5 fleurs. Chaque fleur est entourée de deux glumelles, l'une à l'intérieur et l'autre à l'extérieur. Chacune de ces

glumelles contient trois étamines avec des anthères biloculaires, ainsi qu'un pistil avec deux styles portant des stigmates plumeux. Après fécondation, le pistil peut produire un fruit à une seule graine, appelé caryopse (Maamri, 2011). Pendant la fécondation, les anthères émergent des fleurs tandis que le grain, joue le double rôle de fruit et de graine (Bebba, 2011) La fécondation de la fleur se produit à l'intérieur des glumelles avant que les étamines ne soient libérées à l'extérieur (Benderradji, 2013).

### **1.3.2.2. Grain :**

Le blé tendre, comme la plupart des graminées, présente un fruit sec, caractérisé par un grain étroit et allongé, avec un sillon profond, une brosse peu développée et une texture souvent vitreuse (Bachir Bey Ilhem et al., 2015). Entourée d'une enveloppe végétale qui la préserve des influences extérieures, la graine est composée d'un germe, élément crucial pour la reproduction de la plante, qui germe pour donner naissance à une nouvelle plante, ainsi que d'une amande contenant environ 65 à 70% d'amidon, et une substance protéique appelée gluten, répartie parmi les grains d'amidon (Bebba, 2011).

Un grain de blé est formé de trois régions :

- L'albumen : est constitué de deux composants principaux : l'albumen amylicé, où l'amidon est dispersé dans une matrice protéique avec des parois cellulaires peu visibles, et la couche à aleurone, qui constitue la majeure partie du grain, environ 80 à 85 %.
- Les enveloppes du grain: Les enveloppes du grain sont constituées de six tissus distincts : l'épiderme du nucelle, le tégument séminal ou testa (l'enveloppe externe du grain), des cellules tubulaires, des cellules croisées et le mésocarpe, qui représente environ 13 à 17 % du grain.
- Le germe Le germe, représentant environ 3 % du grain, se compose d'un embryon constitué du coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe, ainsi que du scutellum.

Quant à la composition principale du grain de blé, elle se compose principalement d'amidon (environ 70 %), de protéines (entre 10 et 15 %) et de pentosanes (entre 8 et 10 %). Les autres composants, présents en quantités pondérales mineures (quelques pourcentages seulement), incluent les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines. (Feuillet, 2000) (Figure 03).

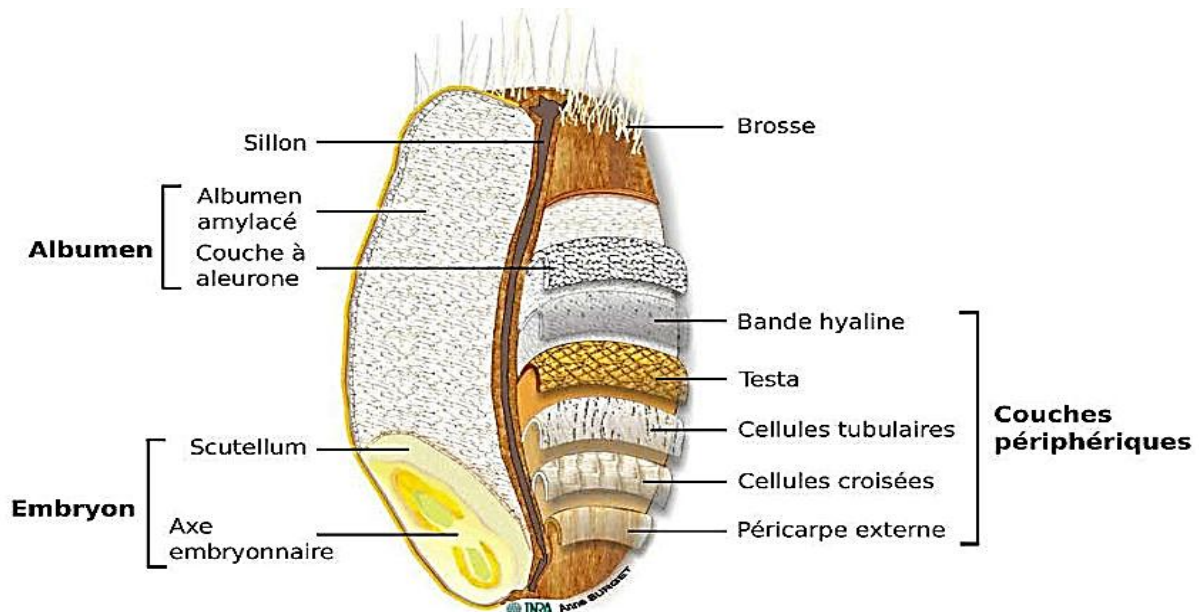
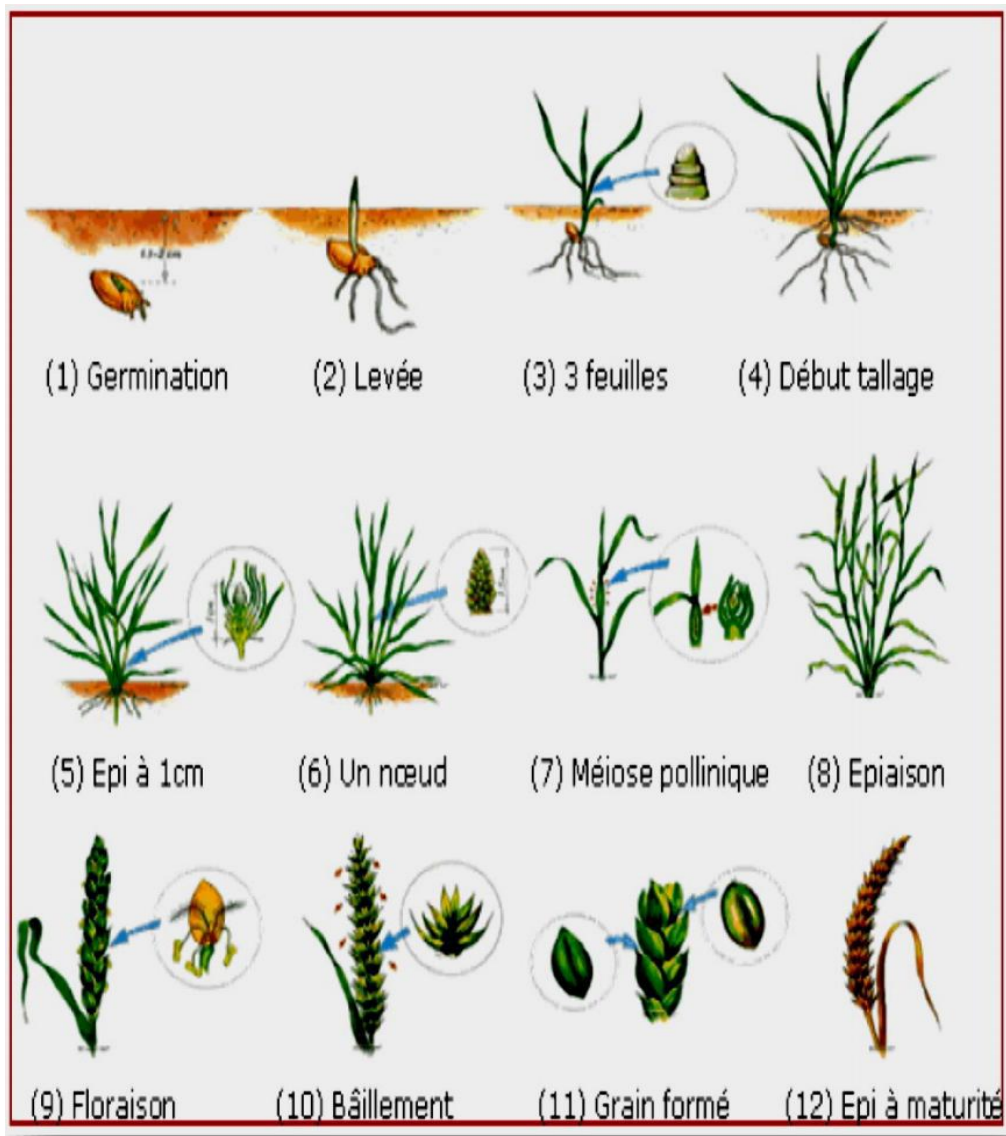


Figure 03 : anatomie du grain de blé tendre (feuillet ,2000).

### 1.5. Cycle de développement

Le cycle de développement d'un blé comprend trois grandes périodes (Figure 04):

- La première phase, appelée période végétative, s'étend de la germination jusqu'aux premiers signes d'allongement de la tige principale, marquant ainsi le début de la monté, qui comprend trois phase : La phase semis-levée, Phase levée – tallage, Phase tallage-Montaison.
- Ensuite, vient la phase reproductrice, cette phase est essentielle pour que la plante développe ses feuilles et ses racines. Pour que le grain de blé atteigne une teneur en eau optimale, entre 35 et 45% de son poids, il doit être d'une qualité. La période reproductive commence avec la formation de l'épi, se prolonge avec la croissance et la maturation du grain, jusqu'à son plein développement (Boulal et al.,2007).
- Enfin, la dernière phase, la période de maturation, , s'étendant de la fécondation à la maturité complète du grain, est cruciale pour le développement des substances de réserve telles que l'amidon et les matières organiques, qui se synthétisent et migrent dans l'albumen. Parallèlement, l'embryon se forme. (Moule, 1971).



**Figure 04:** Cycle végétal du blé (Fritas , 2012).

## 1.6. Exigence culturale

### 1.6.1. La température :

La température exerce une influence significative sur la vitesse des réactions chimiques, y compris celles impliquées dans la photosynthèse des plantes. À des températures basses, l'activité métabolique ralentit et la croissance des plantes est retardée car la synthèse de la matière organique est limitée. Cependant, lorsque la température augmente, les réactions chimiques de la photosynthèse sont stimulées, favorisant une production accrue de matière organique. Cette stimulation se poursuit jusqu'à ce qu'une température optimale soit atteinte,

au-delà de laquelle les réactions peuvent être compromises ou même inhibées (Battering, 2002).

Mekhlouf et *al.*(2001)situent les exigences en température pour les stades suivants :

- Pour la levée, il faut cumuler 120 degrés Celsius de température.
- Pour le tallage, il faut atteindre une somme de 450 degrés Celsius en température.
- Au plein tallage, la somme des températures doit être de 500 degrés Celsius.
- Lorsque l'épi atteint 1 cm, la somme des températures doit être de 600 degrés Celsius.

### **1.6.2.La lumière :**

L'éclairage est un élément essentiel qui influe directement sur la photosynthèse et le développement du blé. Un tallage optimal est assuré lorsque le blé est exposé à des conditions lumineuses optimales(Siouda et Benkhelifa, 2016).

### **1.6.3. L'eau :**

Le blé nécessite un approvisionnement constant en humidité tout au long de son cycle de croissance, avec des besoins en eau variant selon les étapes de développement (Soltner, 2000).

### **1.6.3. Le sol :**

Les sols idéaux pour la culture du blé sont ceux qui présentent un bon drainage, une profondeur suffisante et qui sont exempts de calcaire actif. Un pH compris entre 6,5 et 7,5 est optimal car il favorise l'assimilation de l'azote, contribuant ainsi à la croissance et au rendement du blé(Ben Mbarek et Boubaker, 2017).

### **1.6.4.Fertilisation :**

Les cultures annuelles comme le blé sont sensibles aux carences en phosphore (P), en potassium (K) et en azote, surtout lorsqu'elles sont jeunes, car leurs systèmes racinaires n'exploitent qu'une petite partie du sol. Dans les régions sahariennes, où les sols sont souvent pauvres, la fertilisation azote-phosphorique revêt une grande importance. Cette fertilisation doit être adaptée en fonction des caractéristiques des variétés cultivées. De plus, en raison de la mobilité élevée de l'azote, il est essentiel de fractionner son application pour optimiser son utilisation par les cultures (Ouanzar, 2012).

### **1.7. Utilisation du blé**

Le blé occupe une position centrale dans le système alimentaire algérien. Tout comme dans de nombreux pays méditerranéens, il est un pilier des habitudes alimentaires nationales. Principalement transformé en farine dans les moulins, il sert à la fabrication d'une large gamme de produits destinés à la consommation humaine, tels que le pain, les biscuits, les pâtisseries, et bien d'autres. De plus, il constitue également un composant vital de l'alimentation animale (Duron, 1999).

Outre ses utilisations traditionnelles, le blé a vu émerger de nouvelles applications à grande échelle au cours des dernières années, notamment dans la fabrication de bioplastiques à partir de son gluten ou de son amidon. Ces bioplastiques trouvent principalement leur place dans la production de sacs plastiques, de plastiques agricoles, d'emballages et de certains produits d'hygiène. Une caractéristique avantageuse de ces bioplastiques est leur biodégradabilité et leur caractère renouvelable, par rapport à leurs homologues dérivés des ressources fossiles (Mhenni, 2018).

## **2. Germination**

### **2.1. Définition de la germination**

La germination est fréquemment perçue comme la transition d'une graine en dormance vers une jeune pousse capable de croître de manière autonome, caractérisée par le développement initial des premières feuilles (Come, 1975).

La phase de germination prend fin dès que la radicule commence à s'allonger, et par la suite, le processus se poursuit avec la croissance ultérieure de la racine et de la tige (Come, 1975).

La germination représente une étape physiologique marquant le passage de la dormance de la graine sèche à l'émergence de la plantule en développement. Ce processus débute dès que la graine sèche entre en contact avec l'eau et entame ainsi le processus d'imbibition.

La cinétique de la germination se fait en trois phases :

- Phase I ou phase d'imbibition : Pendant cette phase, les tissus se réhydratent, favorisant ainsi la reprise de l'activité métabolique. Cela s'accompagne également d'une augmentation de l'activité respiratoire. Au cours de cette période, la graine augmente considérablement de taille, doublant voire triplant son volume. Cette phase

est relativement courte, généralement durant de 6 à 12 heures selon les types de graines (Heller, 1995).

- Phase II ou phase de germination sensu stricto : Pendant cette étape spécifique de la germination, aucune modification morphologique de la graine n'est observable. Elle s'étend sur une période de 12 à 48 heures et se termine lorsque la radicule émerge des enveloppes séminales (Come,1975 ; Heller,1995). Ici, L'absorption d'eau et d'oxygène est minime et stable, tandis que les réserves sont mobilisées et ultérieurement dégradées par des enzymes spécifiques. Cependant, tant que la radicule n'a pas émergé, la graine peut subir des cycles de réhydratation et de déshydratation sans subir de dommages.
- Phase III ou phase de croissance :Pendant cette phase, on observe une augmentation de l'absorption d'eau ainsi qu'une activité respiratoire croissante, principalement due à l'allongement de la radicule (Mazliak .,1982 ;Evenari .,1957 ; Come., 1970). Selon (Mazliak ,1982), cette phase se manifeste par une activité enzymatique accrue ainsi qu'une augmentation des taux de respiration et d'assimilation, témoignant de l'utilisation des éléments nutritifs stockés et de leur transfert vers les zones de croissance.

## **2.2. Conditions de la germination**

La germination varie en fonction de plusieurs facteurs : la température et l'oxygène, ainsi que des facteurs internes comme la maturation, la dormance et les mécanismes inhibiteurs.

### **✓ Conditions extérieures :**

- Eau : d'après Côme,1975 Au début de la germination, l'absorption d'eau est rapide dans les premières heures, mais ralentit par la suite alors que l'eau reste à l'état liquide
- Température : ce paramètre exerce une influence significative sur la rapidité des réactions biochimiques ; la plage de température idéale pour la germination se situe entre 20°C et 25°C (Côme, 1975).
- Oxygène : la germination exige de l'oxygène comme tout organe vivant, et selon Côme,1975 , l'embryon ne peut utiliser que l'oxygène dissous autours des téguments.

### **✓ Conditions intérieurs :**

- Maturation : une graine est considérée comme mûre lorsqu'elle a atteint son niveau maximal de déshydratation naturelle, ce qui permet sa récolte, ou lorsqu'elle est libérée par la plante (Côme, 1975).

- Dormance : dans une graine, c'est l'embryon qui amorce la germination et donne naissance à la nouvelle plante, étant la partie vivante et active de la graine. La dormance embryonnaire persiste même lorsque les enveloppes de la graine sont retirées ou lorsque le facteur qui l'a déclenchée est supprimé. Elle survient souvent pendant le développement de la graine sur la plante, lors de sa maturation morphologique. C'est ce qu'on appelle la dormance embryonnaire primaire (Côme, 1975).
- Inhibitions de germination : l'inhibition de la germination désigne tout processus qui entrave la germination d'un embryon qui n'est pas en dormance (Côme, 1975).

### 3. la salinité

La salinité est un facteur crucial qui diminue la croissance et la productivité des plantes à l'échelle mondiale (Farej, 2016). La FAO prévoit que dans un futur proche, plus de 800 millions d'hectares seront touchés par la salinité. Elle identifie la salinité comme une contrainte majeure pour la production alimentaire, notamment face à une population en croissance (Rengasamy, 2006 ; FAO, 2008). En raison du manque de données à jour, on ne connaît pas précisément l'étendue des sols affectés par la salinité

Le terme salinité désigne la présence dans l'eau et le sol des principaux solutés inorganiques dissous, notamment le sodium ( $\text{Na}^+$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ), le chlore ( $\text{Cl}^-$ ), le sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), le bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ), le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) et le carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) (Bernstein, 1975 ; Tanji, 1990 ; Rhoades et al., 1999). Les interactions entre ces sels et d'autres ions sont cruciales et peuvent varier considérablement selon les endroits. Un problème de salinité survient lorsque le sel s'accumule dans la zone racinaire des cultures à des concentrations telles qu'elles entraînent une baisse de rendement (Francois et al., 1999). Dans les régions irriguées, ces sels sont généralement issus d'une nappe phréatique saline et peu profonde, ou bien des sels contenus dans l'eau d'irrigation. Ils sont particulièrement répandus dans les zones où la nappe phréatique est peu profonde.

#### 3. 1. Définition de la salinité

La salinité constitue un facteur de stress abiotique majeur, limitant la production végétale et la sécurité alimentaire, ce qui influence la structure socio-économique de nombreux pays. On estime que la salinité réduit le potentiel de rendement génétique des plantes sur environ 20% des terres cultivées et près de la moitié des terres irriguées (Flowers,

2004 ; Jones, 2007 ; Munns et *al.*,2006). Cette contrainte diminue également la capacité osmotique de la solution du sol, ce qui entrave l'absorption d'eau par les racines et conduit finalement à des déficits hydriques (Munns et *al.*,2006 ; Fernández-Torquemada et Sánchez-Lizaso,2013). L'influence négative du sel sur le potentiel osmotique entrave l'absorption d'humidité par la graine lors de la germination (Abbasdokht, 2011 ; Aslan et *al.*, 2016).

### **3.2.Effet de la salinité sur la germination :**

La salinité affecte la germination des plantes, qu'elles soient adaptées à des environnements salins (halophytes) ou non (glycophytes). Selon l'espèce, l'effet inhibiteur de la salinité peut être d'ordre osmotique ou toxique. L'impact négatif de la présence de sel sur la germination peut être attribué à plusieurs facteurs, parmi lesquels on a mentionné les variations de l'équilibre hormonal (Ismail, 1990).

La présence de sel dans le milieu inhibe la germination des graines en raison de son effet osmotique, perturbant ainsi tous les processus germinatifs. Cela résulte en une diminution du potentiel hydrique autour des graines, rendant l'eau inaccessible pour la réhydratation et la reprise des activités de l'embryon (Maas et Poss, 1989).

La salinité peut avoir un impact négatif sur le taux de germination des graines et entraîner un retard dans le déclenchement du processus de germination, que les plantes soient des glycophytes ou des halophytes (Ismail, 1990).

### **3.3. Effet de la salinité Sur la croissance et le développement**

La salinité pose un défi majeur pour la croissance et le développement des plantes (Wang et Nil, 2000). Il est observé que le stress salin induit initialement une diminution de la vitesse d'expansion de la surface foliaire, et cette expansion cesse à mesure que la concentration en sel augmente. De plus, le stress salin entraîne une réduction de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, des tiges et des racines (Chartzoulakis et Klapaki, 2000).

Des études ont également montré que des niveaux élevés de NaCl entraînent une diminution de l'absorption de  $\text{Ca}^{2+}$ , qui est relativement tolérante au sel. Une augmentation de la concentration en  $\text{Na}^+$  est associée à une baisse de la concentration en  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , N, P et  $\text{Ca}^{2+}$  dans la plante (Levitt, 1980). Ce déséquilibre nutritionnel peut être une raison potentielle de la réduction de la croissance en présence de sel, où des ions essentiels tels que le  $\text{K}^+$ , le  $\text{Ca}^{2+}$  ou le  $\text{NO}_3^-$  deviennent limitant (Mohamed et al., 1998).

### 3.4. Les mécanismes d'adaptation face au stress salin

Lorsqu'une plante est confrontée à un environnement salin, elle doit gérer l'infiltration de sel dans ses structures internes. Ce sel peut être éliminé ou stocké par les diverses parties de la plante, y compris les organes, les tissus, les cellules et les compartiments cellulaires (Levigneron et *al.*, 1995). Au niveau de l'ensemble de la plante, les ions chlorure de sodium absorbés par les racines sont transportés à travers la sève xylémique jusqu'aux tiges et aux feuilles. À cet endroit, ils peuvent être soit stockés, soit, au contraire, peu retenus et redistribués par la sève phloémique vers les racines (Levigneron et *al.*, 1995 ; Dajic, 2006). Les plantes ont développé diverses stratégies pour survivre dans des environnements présentant des concentrations élevées de sel (Levitt, 1980 et Dajic, 2006).

#### 3.4.1 Exclusion :

Une des stratégies adoptées par les plantes pour faire face aux niveaux excessifs de  $\text{Na}^+$  est de limiter l'entrée de ces ions. Pour atténuer le stress ionique provoqué par le  $\text{Na}^+$ , la plante doit réguler à la fois l'absorption de  $\text{Na}^+$  par les racines et son transport des racines aux feuilles. Pour la plupart des plantes, le principal site de toxicité du  $\text{Na}^+$  se situe au niveau du limbe des feuilles, où cet ion a tendance à s'accumuler (Munns, 2002). Les ions  $\text{Na}^+$  sont acheminés à travers le xylème, où ils sont conduits vers les feuilles par le flux de transpiration. Ensuite, une partie de ces ions est renvoyée vers les racines via le phloème, où ils sont ré éliminés vers l'environnement extérieur (Gerhard, 1987).

#### 3.4.2 Inclusion :

Ce processus permet aux plantes de survivre malgré les contraintes du stress interne. En effet, la plante retient le sel qui atteint les feuilles de la même manière que l'eau, grâce au mouvement ascendant de la sève à travers les vaisseaux. À l'intérieur des cellules, le sel est ensuite stocké dans les vacuoles à l'aide de systèmes de pompes moléculaires. Les vacuoles agissent comme des compartiments clos à l'intérieur de la cellule, permettant ainsi d'isoler le sel des composants cellulaires vitaux (Berthomieu et *al.*, 2003). Ce mécanisme de compartimentation du sodium au sein de la vacuole permet à la cellule de maintenir une concentration faible de sodium dans le cytoplasme, réduisant ainsi son potentiel toxique. Parallèlement, l'élévation de la concentration de sodium dans la vacuole induit une pression osmotique élevée, favorisant l'absorption d'eau et améliorant ainsi la turgescence des cellules (Glenn et *al.*, 1999).

#### 3.4.3 Ajustement osmotique :

L'ajustement osmotique est désormais reconnu comme un mécanisme crucial d'adaptation des plantes face au stress salin. Il peut intervenir à toutes les étapes de développement de la plante

et son caractère induit suggère qu'il a peu d'impact, voire aucun, sur le rendement potentiel. Ce processus revêt une importance capitale dans la capacité d'une plante à résister ou à tolérer le stress dû à une salinité élevée ou à un manque d'eau (Kara *et al.*, 2011). La plante doit produire des composés organiques solubles pour réguler son équilibre hydrique (Belfakih *et al.*, 2013), Cela maintient la rigidité des feuilles qui se sont partiellement affaissées lorsque l'approvisionnement en eau reprend, tout en permettant aux stomates de rester ouverts pour absorber le CO<sub>2</sub> nécessaire à la photosynthèse, même dans des conditions de stress salin modéré (Hopkins, 2003). Les substances responsables de la régulation osmotique comprennent principalement des acides organiques, des acides aminés tels que la proline et la glycine-bétaine, des sucres solubles, ainsi que certains éléments inorganiques.

(Richards *et al.*, 1997). La principale fonction des solutés compatibles est de prévenir la perte d'eau afin de maintenir la turgescence cellulaire et de garantir un gradient efficace de reprise d'eau dans la cellule. L'accumulation de ces métabolites à l'intérieur des cellules entraîne une augmentation du potentiel osmotique, ce qui conduit ultimement à une amélioration de la capacité d'absorption d'eau par les racines et à une économie d'eau au niveau cellulaire (Seyed *et al.*, 2012).

#### 4. Silicium

Le silicium est un élément minéral largement répandu dans le sol, principalement sous forme de SiO<sub>2</sub>, qui n'est pas directement disponible pour les plantes. Sa forme soluble, l'acide ortho-silicique (Na<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>) est peu présente dans le sol. Malgré sa présence abondante, le silicium reste le deuxième élément le plus commun dans la croûte terrestre, après l'oxygène (Epstein, 1999).

##### 4.1. Le silicium dans le sol

Le silicium (Si) est un métalloïde présent en grande quantité dans l'environnement, le sol et les océans, tout comme l'azote, le phosphore ou le potassium. Il constitue le deuxième élément le plus répandu dans la croûte terrestre, représentant 27,5% de son poids, juste après l'oxygène (Epstein, 1999; Řezanka et Sigle, 2008; Bouzoubaâ *et al.*, 2009; Broadley *et al.*, 2011).

Le silicium se trouve dans le sol sous forme liquide, solide et adsorbée (Opfergelt, 2008). Dans le sol, le silicium est présent dans la solution sous forme d'acide silicique monomérique (Na<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>), (Faure, 1991).

Dans le sol, le silicium se trouve également sous forme solide, principalement sous forme de silice ( $\text{SiO}_2$ ), une molécule constituée d'un atome de silicium lié à deux atomes d'oxygène. Cette forme n'est pas directement disponible pour les plantes. En revanche, sa forme soluble est l'acide silicique ( $\text{Na}_4\text{SiO}_4$ ), également connu sous le nom d'acide orthosilicique Si, qui est très peu présent dans le sol. Le silicium est souvent un élément méconnu des agriculteurs et est rarement utilisé dans les pratiques agricoles (Bouzoubaâ *et al.*, 2009). La forme la plus accessible et la plus assimilable du silicium pour les plantes est l'acide orthosilicique, ce qui en fait également la plus efficace (Bouzoubaâ *et al.*, 2004).

#### 4.2. Teneurs du silicium chez les plantes

En général., les plantes supérieures renferment entre 0,1 et 10 % de leur matière sèche sous forme de silice. Ces proportions sont similaires à celles observées pour plusieurs éléments essentiels tels que le calcium (0,1 à 0,6 %) et le soufre (0,1 à 1,5 %) (Epstein, 1994 ; Epstein, 1999). Dans certaines espèces où les concentrations en silice sont les plus élevées, elles peuvent même dépasser de loin celles des macroéléments. Même à des concentrations aussi faibles que 0,1 %, la présence de silice dans les tissus végétaux est comparable aux concentrations minimales parfois observées pour des éléments aussi essentiels que le phosphore et le magnésium (Epstein, 1994 ; Epstein, 1999). La concentration de silice dans les tissus végétaux présente une variation significative d'une espèce à l'autre, bien plus marquée que celle observée pour d'autres éléments. Cette variation peut également être notable entre les cultivars d'une même espèce. Elle est attribuable en partie aux caractéristiques propres de la plante, notamment sa capacité intrinsèque à absorber la silice, mais aussi aux conditions environnementales et à la nature du sol dans lequel elle se développe (Ma *et al.*, 2001).

#### 4.3. Effets de silicium sur les plantes stressées à la salinité

Le Si est connu comme un élément protecteur contre les stress biotiques et abiotiques (Ma, 2004), notamment la salinité. En outre, plusieurs études ont rapporté que les plantes traitées avec du silicium maintiennent un taux de conductance stomatique et de transpiration plus élevé (Ma, 2004).

Le Si peut atténuer la toxicité du sodium non seulement par la diminution de la toxicité interne de  $\text{Na}^+$  dans les feuilles et les tiges, mais également en réduisant son absorption par les racines, ce qui réduit son transport vers les parties aériennes de la plante abiotiques (Ma, 2004). (Gong *et al.*, 2006), ont suggéré que l'un des mécanismes possible responsable de la

détoxication des ions  $\text{Na}^+$  dans un milieu enrichi en Si chez le riz est la co-précipitation des deux éléments dans les racines. Ceci revient au fait que, le dépôt du Si (sous forme de silicate polymérisé) dans l'exo derme réduit la translocation de sodium par réduction de son transport apoplasmique à travers les racines.



## **Chapitre II**

### **Matériels et méthode**



**I. Matériel d'étude****1-Matériel utilisés :**

- ✚ Silicate du sodium( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) PM= 122 ,06 g/mol.
- ✚ Chlorure de sodium (Na Cl) PM=58,45 g /mol.
- ✚ H<sub>2</sub>O distillé, balance, papier absorbant, papier aluminium, papier film, éprouvette, étiquettes, bécher, agitateur, limon, eau de javel, boîte de Pétri.

**2-Matériel végétal :**

Nous avons utilisé une variété de blé tendre « HD 1220 ». Les graines proviennent de la récolte 2021 d'une station située à la wilaya d'Alger et elles nous ont été fournies par l'Institut Technique Des Grandes Cultures (ITGC) située à Baraki. Ces graines fournies n'ont subi aucun traitement et elles étaient stockées dans un endroit sec à température ambiante du laboratoire.

**II. Méthodes d'étude**

Le présent travail est réalisé au niveau du laboratoire d'écophysiologie végétale du département des sciences biologiques à L'UMMTO. Nous avons testé l'effet de silicate de sodium à deux doses différentes (2M, 4M), et l'effet de NaCl (0g/l (témoin), 3g/l, 6g/l, 9g/l, 12g/l, 15g/l) sur les paramètres de germination et début de croissance des graines du blé tendre HD 1220.

**1. Protocole expérimentale****1.1 Préparation des solutions Salines :**

- Préparation de la solution de sel (NaCl) dont la concentration 3g/l, 6g/l, 9g/l, 12 g/l, 15g/l.
- Peser la masse de sel.
- Ajouter de l'eau.
- Agiter la solution pour dissoudre le sel.
- Verser le contenu dans une éprouvette de 500 ml, puis la remplir avec l'eau distillée.
- Verser le contenu dans des bouteilles en plastique puis on va les étiqueter.

**1.2. Préparation des solutions de silicate de sodium**

- Préparation des deux solutions de silicate de sodium ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dont la concentration 2M, 4M.
- Peser la masse de silicate de sodium.

- Ajouter de l'eau.
- Agiter la solution pour dissoudre le silicate de sodium.
- Verser le contenu dans une éprouvette de 500 ml, puis la remplir avec l'eau distillée.
- Verser le contenu dans des bouteilles en plastique puis on va les étiqueter.

### **1.3.Préparation des graines**

#### **1.3.1. Tri des graines :**

Nous avons trié les graines en évitant toutes celles qui sont cassées, nous avons choisi les plus performantes.

#### **1. 3.2. Désinfection des graines :**

Afin d'éliminer tous les microorganismes qui se trouve à la surface de la graine, nous les avons traités avec l'eau de javel 13% pendant 5 minute, ensuite ces dernières sont rincées trois fois à l'eau distillée.

#### **1.3.3. Pré traitement :**

Après la désinfection des graines, ces derniers sont mis dans les deux solutions de silicate de sodium Pendant 12h.

### **1.4. Mise en culture :**

Les graines sont mises dans des boîtes de Pétri en plastique à raison de vingtgraines de lé HD 1220 par boîte. Le nombre de répétition est de 6. Ce qui fait par conséquent 120 graines par traitement (20 graines×6). L'arrosage des graines est réalisé par 5 ml de chaque concentration de NaCl (3 g/l, 6g/l,9g/l,12g/l,15g/l) a raison de trois fois par semaine.

## **2. Paramètres mesurés :**

Le suivi de la germination des graines de blé tendre HD 1220 s'est appuyé sur l'observation de divers paramètres morphologiques pour évaluer leur comportement au cours de ce processus.

### **2.1. Cinétique de germination :**

Elle permet d'appréhender la signification du comportement germinatif des écotypes étudiés ainsi que l'ensemble des événements depuis l'absorption de l'eau par la graine, jusqu'à l'élongation de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule à travers les téguments (Côme, ,1970).

**2.2. Taux finale de germination (TG%) :**

Le nombre moyen de graines germées a été suivi quotidiennement puis le pourcentage par rapport au nombre total de graines a été calculé comme suit :

$$P = n/N \times 100$$

n : nombre moyen de graines germées.

N : nombre total de graines testées.

**2.3. Temps moyen de germination (TMG) :**

C'est le temps mis par les graines pour germer, il est exprimé en jour et calculer par la formule suivante :

$$TMG = (N1T1 + N2T2) + \dots / (N1 + N2 + \dots + Nn)$$

N1 : nombre de graines germées au jour .

Nn : nombre de graines germées entre le temps Tn-1 et le temps Tn.

T : nombre total de jours d'observation.

**2. 3. la longueur de la tige des plantules :**

La longueur des plantules a été mesurée par une règle graduée à la fin de ladurée de germination (18 jours après la mise en germination).

**2 .4. la longueur de la racine :**

Après avoir retiré délicatement les graines des boîtes de Pétri, nous avons mesurée par une règle graduée.

**2.5. la biomasse :**

A la fin de l'essai de germination les plantules sont pesées avec une balance de précision pour estimer la biomasse des plantules .

**3. Analyse statistique :**

Pour traiter nos résultats, on a procédé à la comparaison des moyennes des traitement en utilisant le logiciel R. L'analyse a été réalisé en utilisant le test non paramétrique de Kruskal-Wallis et il est complété par le test Post hoc de Newman & Keuls.



## **Chapitre III : Résultats et discussions**

## Chapitre III : Résultats et discussions

### **Résultat :**

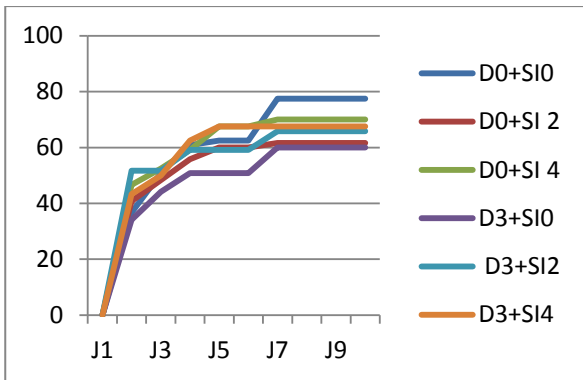
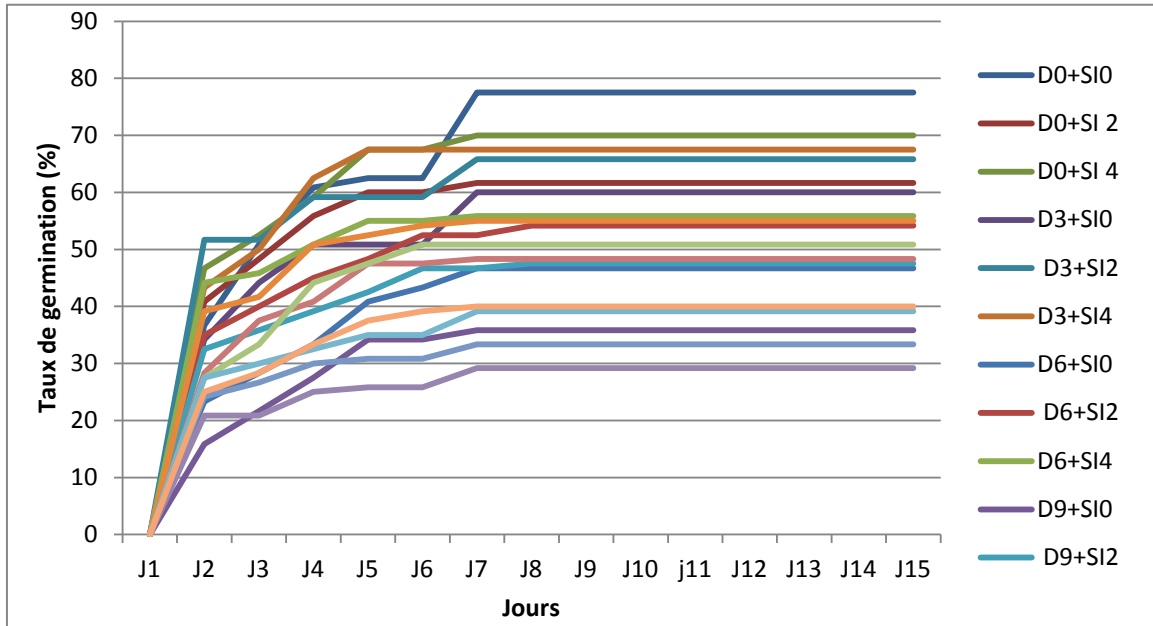
#### **1.Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la cinétique de germination des plantules de blé tendre HD 1220 :**

La courbe illustrant la cinétique de germination des graines de blé tendre de la variété HD 1220 sous l'effet des concentrations croissantes de NaCl et de silicium (figure 06).

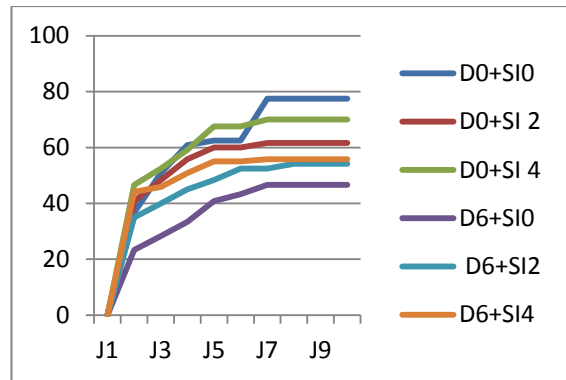
Les résultats montrent trois phases plus ou moins distinctes :

- La première phase représente une phase de latence d'une durée courte de 1 à 1,5 jour correspondant au début de la germination pour tous les traitements à une température 20 °C.
  - ✓ Les plantules traitées avec le silicate de sodium ainsi que les cas combinés silicate de sodium et NaCl, nous remarquons que le temps phase de latence est plus court, par rapport aux plantules traitées au sel NaCl.
- La deuxième phase représente la phase exponentielle au cours de laquelle la vitesse de germination augmente jusqu'à atteindre une valeur maximale à partir de laquelle la germination s'arrête pendant 5 jours. Le taux de germination le plus élevé, qui est de 70.75% obtenu par le témoin.
  - ✓ Le TG diminue de plus en plus à mesure de l'augmentation du stress salin (3g/l, 6g/l, 9g/l, 12g/l, 15g/l) jusqu'à atteindre 29% pour les plantules traitées avec une dose de sel (15g/l).
  - ✓ Cependant avec l'introduction de deux doses de silicium (2M ;4M) nous avons remarqué qu'il y'a un effet significatif sur le TG, par exemple : à la dose 6g/l nous avons observé que le TG=47 % alors qu'à la dose de sel 6g/l+la dose de silicium 4M nous avons observé que TG =55%.
- La troisième phase stationnaire constante caractérisée par des taux de germination stable à partir de 5 jours jusqu'au 10<sup>ème</sup> jour.

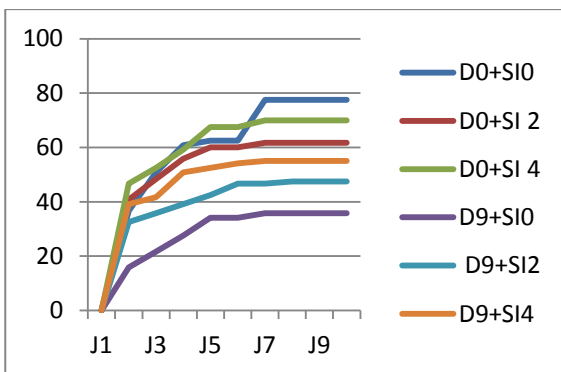
### Chapitre III : Résultats et discussions



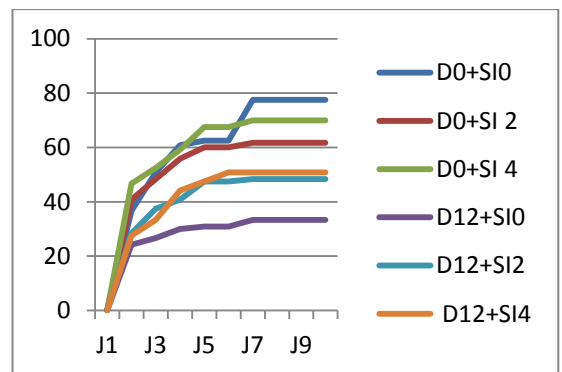
D3



D6

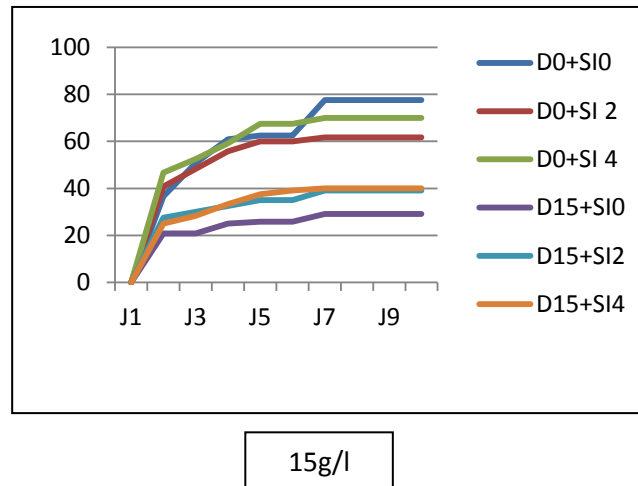


D9



D12

### Chapitre III : Résultats et discussions



**D0 +SI0** : témoin ; **D0+SI2** : silicium (2M) ; **D0+SI4**: silicium (4M) ; **D3** : NaCl (3g/l) ; **D6** : NaCl (6g/l) ; **D9** : NaCl (9g /l) ; **D12** : NaCl (12g/l) ; **D15** : NaCl(15g/l)

**Figure 06** : Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la cinétique de germination des plantules de blé tendre HD 1220.

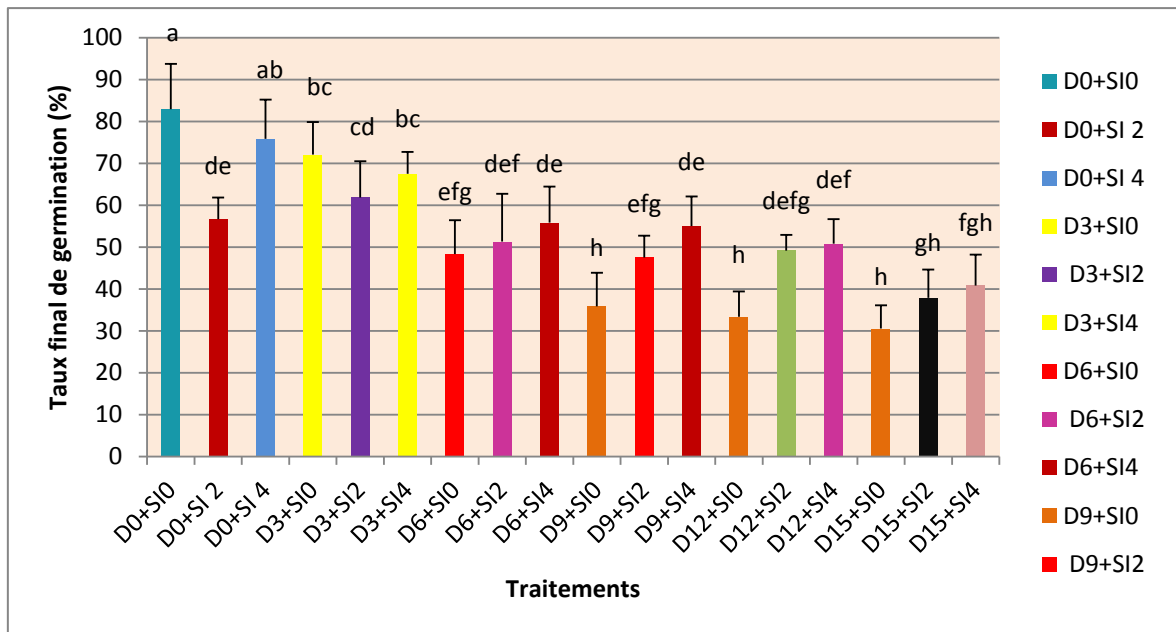
#### **2.Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur le taux final de germination des plantules de blé tendre HD 1220 :**

Le taux final de la germination des graines de blé tendre de la variété HD 1220 obtenus après 18 jours de mise en germination, est représenté dans la figure 07. L'étude statistique de nos résultats a montré un effet très hautement significatif ( $p < 0,001$ ) ; en effet ces résultats ont réparties en 11 groupes Homogènes : «a» ,«ab»,«bc»,«cd»,«de»,«def»,«defg»,«efg»,«fgh»,«gh»,«h» .

La plus grande valeur de taux de germination a été enregistrée chez les graines arrosées avec l'eau distillée considéré comme témoin avec un taux de 83% qui est appartient au groupe homogène «a». Cependant il a été observé avec l'application des différentes concentrations du sel (NaCl) une diminution progressive du taux finale de germination : à titre d'exemple à la dose 6g /l nous avons observé une chute de 42 ,16 % par rapport au témoin, A la lumière de l'analyse statistique de nos résultats, nous avons remarqué que l'apport du silicate de sodium à partir la dose 6g/l présente un effet significatif dans l'amélioration du taux de germination.

### Chapitre III : Résultats et discussions

A titre d'exemple, le pourcentage final de germination est de 35.83% à 9 g/l et de 33.33% à 12g/L. Ces valeurs ont été élevées avec le traitement au silicate de sodium jusqu'à atteindre des seuils de 55% et 50.83% respectivement pour 9 et 12g/L NaCl.



**D0 +SI0** : témoin ; **D0+SI2** : silicium (2M) ; **D0+SI4**: silicium (4M) ; **D3** : NaCl (3g/l) ; **D6** : Na Cl (6g/l) ; **D9** : Na Cl (9g /l) ; **D12** : Na Cl (12g/l) ; **D15** : NaCl(15g/l) .

**Figure 07:** Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur le taux final de germination des plantules de blé tendre HD 1220.

### 3. Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur le temps moyen de germination des plantules de blé tendre HD 1220 :

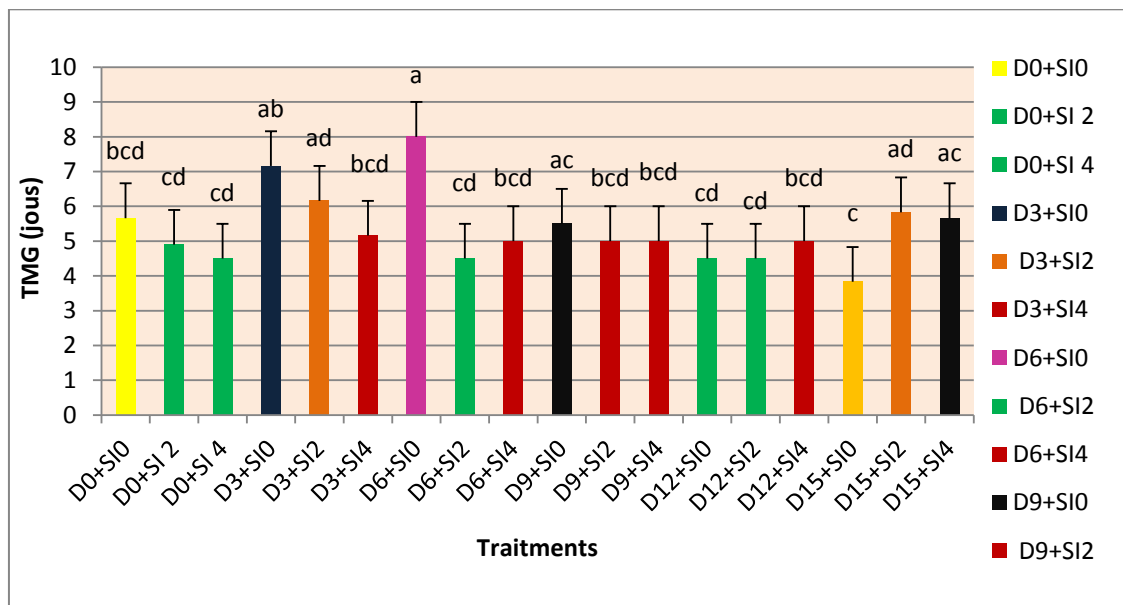
Le temps moyen de germination des plantules issues de la germination des graines de blé tendre de la variété HD 1220 obtenus après 18 jours de mise en germination, est représentés dans la figure 08. L'étude statistique de nos résultats a montré un effet très hautement significatif ( $p < 0,001$ ) ; en effet ces résultats sont répartis en huit groupes homogènes. «a», «ab», «ac», «ad», «cd», «bcd», «c», «ad».

Le TMG nécessaire pour la germination des plantules de blé tendre augmente avec la concentration de sel. En effet, les plantules témoins germent plus vite que celles traitées avec les différentes concentrations de sel (figure 08) par exemple : le témoin il nécessite en

### Chapitre III : Résultats et discussions

moyenne 5,5 jours pour germer alors que les plantules traitées avec le sel (3g/l et 6g/l), elles sont germées après un temps plus long, respectivement de 7,12 et 8 jours.

Cependant, l'addition des deux concentrations du silicium (2M et 4M) a diminué le TMG chez les lots traités par le sel, L'effet positif du silicium a été plus prononcé au niveau des plantules traitées avec les dose de sel (3g/l ,6g/l).



**D0 +SI0** : témoin ; **D0+SI2** : silicium (2M) ; **D0+SI4**: silicium (4M) ; **D3** : NaCl (3g/l) ; **D6** : NaCl (6g/l) ; **D9** : NaCl (9g /l) ; **D12** : NaCl (12g/l) ; **D15** : NaCl(15g/l) .

**Figure08** : Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur le temps moyen de germination des plantules de blé tendre HD.

#### 4.Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la longueur de la tige des plantules de blé tendre HD 1220 :

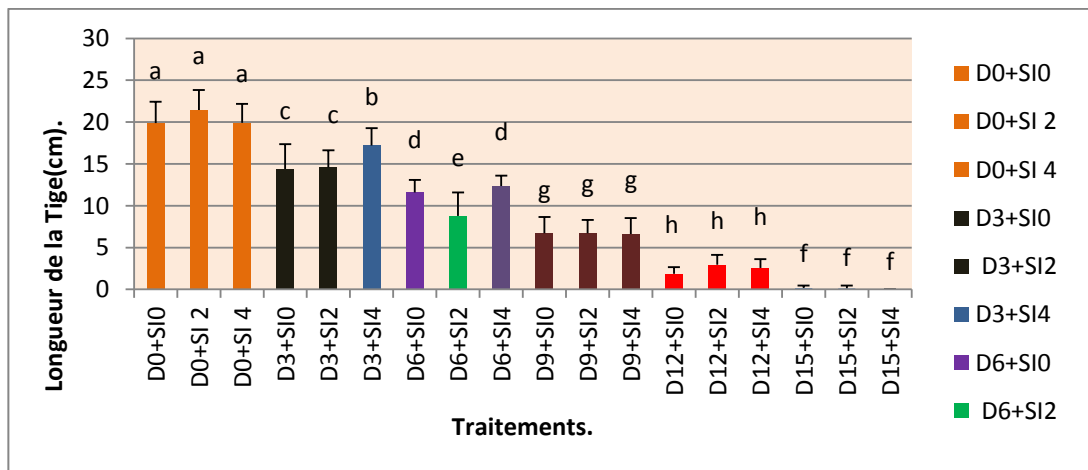
La longueur de la tige des plantules issues de la germination des graines blé tendre de la variété HD 1220 obtenus après 18 jours de mise en germination, est représentée dans la figure 09. L'étude statistique de nos résultats a montré un effet très hautement significatif ( $p < 0,001$ ) ; en effet ces résultats ont réparties en huit groupe homogène «a»,«b»,«c»,«d»,«e»,«f»,«g»,«h», la plus grande hauteur moyenne a été enregistrée chez les graines arrosées avec l'eau distillé considéré comme témoin , le traitement au silicate de sodium à la dose 2 g/l , silicate de sodium 4 g/l , qui appartient au groupe homogène « a » .

### Chapitre III : Résultats et discussions

Le groupe homogène «c» renferme les graines arrosées avec la dose de sel 3g /l. Ce traitement a montré une chute de la longueur de la tige des plantules de 36,36% par rapport au témoin. Cette diminution s'intensifie en fonction du degré de stress, à titre d'exemple à la dose 6g /l nous avons enregistré une chute de la longueur de la tige des plantules de 45,45 % par rapport au témoin.

Cependant avec l'introduction de silicium nous avons remarqué une amélioration de la longueur de la tige des plantules. En effet ;l'apport du silicium s'est avéré très hautement significatif comparativement au cas du lot traité à 3g/l seulement avec une augmentation de 22 ,73%.

A la lumière de l'analyse statistique de nos résultats, nous avons remarqué que l'apport du silicate de sodium à partir la dose 6g/l ne présente aucun effet sur le renforcement de la tolérance à la contrainte saline (Figure 9).



**D0 +SI0** : témoin ; **D0+SI2** : silicium (2M) ; **D0+SI4**: silicium (4M) ; **D3** : Na Cl (3g/l) ;  
**D6** : Na Cl (6g/l) ; **D9** : Na Cl (9g /l) ; **D12** : Na Cl (12g/l) ; **D15** : Na Cl (15g/l).

**Figure09** : Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la longueur de la tige des plantules de blé tendre HD 1220.

#### 5.Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la longueur de la racine des plantules de blé tendre HD 1220 :

La longueur de la racine des plantules issues de la germination des graines de blé tendre de la variété HD 1220 obtenus après 18 jours de mise en germination, est représentée dans la figure

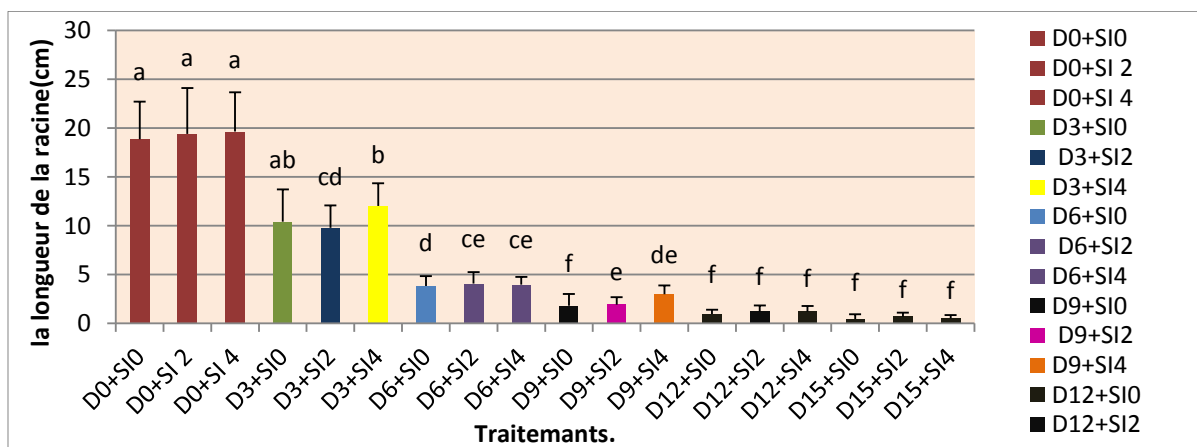
### Chapitre III : Résultats et discussions

10. L'étude statistique de nos résultats a montré un effet très hautement significatif ( $p < 0,001$ ) ; en effet ces résultats sont réparties en huit groupes homogènes «a», «ab», «cd», «b», «d», «ce», «f», «e», «de» ; la plus grande hauteur moyenne a été enregistrée chez les graines arrosées avec de l'eau distillée considéré comme témoin, le traitement au silicate de sodium à la dose 2 M, silicate de sodium 4 M, appartient au groupe homogène «a» .

Le groupe homogène «ab» renferme les graines arrosées avec la dose de sel 3g/l. Ce traitement a montré une chute de la longueur de la racine des plantules de 41,67% par rapport au témoin. Cette diminution s'intensifie en fonction du degré de stress, à titre d'exemple, à la dose 6g /l nous avons enregistré une chute de la longueur de la racine des plantules de 80,56 % par rapport au témoin.

Cependant avec l'introduction de silicium nous avons remarqué une amélioration de la longueur de la racine des plantules. En effet ; l'apport du silicium s'est avéré très hautement significatif comparativement au cas du lot traité à 3g/l seulement avec une augmentation de 8,33 %.

A la lumière de l'analyse statistique de nos résultats, nous avons remarqué que l'apport du silicate de sodium à partir la dose 9g/l ne présente aucun effet sur le renforcement de la tolérance à la contrainte saline.



**D0 +SI0** : témoin ; **D0+SI2** : silicium (2M) ; **D0+SI4**: silicium (4M) ; **D3** : Na Cl (3g/l) ; **D6** : Na Cl (6g/l) ; **D9** : Na Cl (9g /l) ; **D12** : Na Cl (12g/l) ; **D15** : Na Cl (15g/l).

**Figure 10** : Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la longueur de la racine des plantules de blé tendre HD 1220.

### Chapitre III : Résultats et discussions

#### **6.Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la biomasse des plantules de blé tendre HD 1220 :**

La biomasse des plantules issues de la germination des graines de blé tendre de la variété HD 1220 obtenus après 18 jours de mise en germination, est représenté dans la figure 11. L'étude statistique de nos résultats a montré un effet très hautement significatif ( $p < 0,001$ ) ; en effet ces résultats ont réparties en dix groupes homogènes «a»,«b»,«c»,«d»,«de»,«ef»,«efg»,«fgh»,«gh»,«h» .

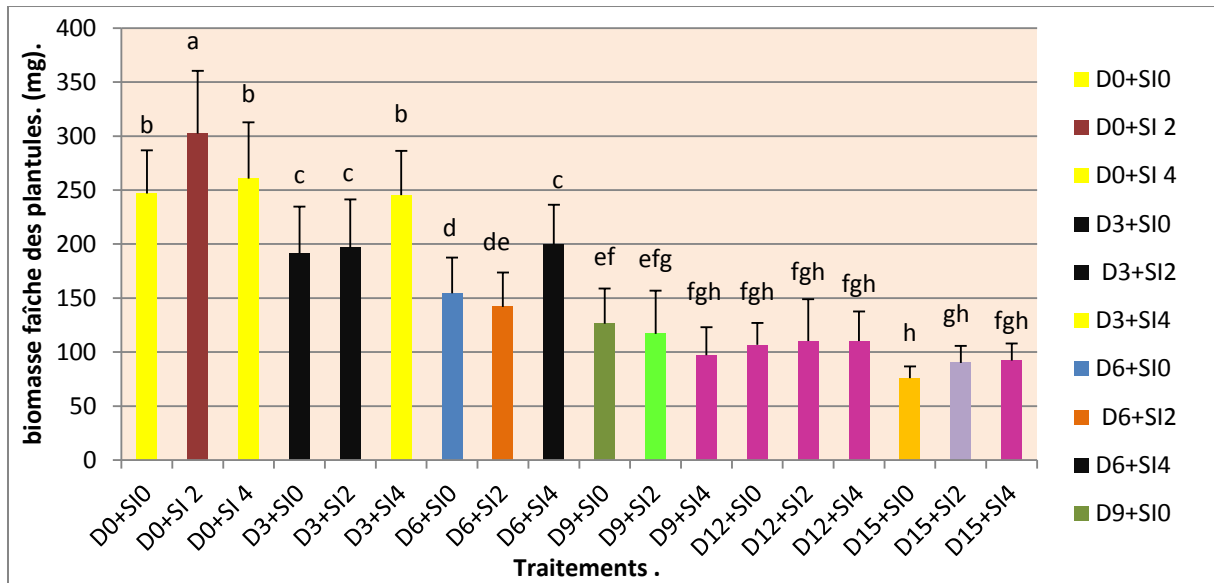
L'application des différentes concentrations du sel (NaCl) a induit une diminution progressive de la biomasse fraîche des plantules qui s'intensifie en fonction de degré de stress, à titre d'exemple : la dose de sel 3g/l nous avons observé une chute de 26,53% par rapport au témoin, ainsi que à la dose 6g /l on a observé une chute de 36,74 %.

Cependant avec l'introduction de silicium nous avons remarqué une amélioration de la biomasse fraîche des plantules. En effet ; l'apport du silicium s'est avéré très hautement significatif comparativement au cas du lot traité à 3g/l seulement avec une augmentation de 26,53% de la biomasse.

A la lumière de l'analyse statistique de nos résultats, nous avons remarqué que l'apport du silicate de sodium à partir la dose 9g/l ne présente aucun effet sur le renforcement de la tolérance à la contrainte saline,et il agit a des faibles concentrations.

En effet nous avons observé un effet de silicium très significatif chez les graines traitées par la dose 2M qui appartient au groupe homogène « a » au point que la biomasse enregistrée a dépassé même le témoin (Figure 11).

### Chapitre III : Résultats et discussions



**D0 +SI0** : témoin ; **D0+SI2** : silicium (2M) ; **D0+SI4**: silicium (4M) ; **D3** :Na Cl (3g/l) ; **D6** : Na Cl (6g/l) ; **D9** : Na Cl(9g /l) ; **D12** : Na Cl(12g/l) ; **D15** : Na Cl(15g /l) .

**Figure11** :Effet de différentes concentrations de sel (NaCl) et de son effet combiné avec le silicate de sodium seul sur la biomasse des plantules de blé tendre HD 1220.

## Chapitre III : Résultats et discussions

### **I. Discussion :**

L'objectif de notre travail est l'étude de l'effet de silicate de sodium sur la réponse des graines de Blé mise en germination sous des conditions de stress salin. D'après les figures 07 ; 08 ; 09 ; 10 ; 11. l'analyse statistique de nos résultats a confirmé un effet significatif ( $p < 0,001$ ).

Nos résultats montrent que, le taux de germination de plus élevé est observé chez les lots témoin et ceux traités par le silicate, Celui-ci diminue en fonction de la concentration du sel dans la solution d'arrosage. En effet, à titre d'exemple à la salinité moyenne testée à savoir 6g/L de NaCl, le taux de germination a chuté de 42.16% par rapport au témoin. Ce résultat est en nette concordance avec plusieurs autres travaux de recherches qui ont enregistré des constatations similaires chez plusieurs espèces végétales (Rahmane *et al.*, 2021 ; Naido et Keit, 2006). L'application du silicate de sodium sur les graines de *Triticumaestivum* a permis de renforcer la tolérance au stress salin en augmentant le taux de germination chez les graines traitées avec ce composé (55 et 50.83% chez les doses de 9 et 12g/L traité au silicate de sodium et 35.83 et 33.33% respectivement dans le cas non traité). Ce résultat corrobore celui des recherches effectuées sur une diversité d'espèces végétales (Iken et Lounaci, 2023 ; Lachi et Ali Moussa, 2023 ; Rahmane *et al.*, 2021 ; El-Serafy *et al.*, 2021 ; Chaffai *et al.*, 2017).

Tout comme le taux final de germination, le temps moyen de germination est un paramètre révélateur de l'effet du stress sur les retards induit à un lot de graines pour entamer le processus de germination. Notre expérimentation n'a mis en évidence un effet négatif de la salinité sur ce paramètre. Cependant ces valeurs se trouvent diminuées chez les lots de graines ayant reçues un priming préalable au Silicium avec des valeurs de TMG respectivement de 4.9 ; 6.16 et 5 jours. Il est également important de signaler le traitement au silicium dont la durée du TMG est même inférieure au cas témoin (4.9 comparativement à 5.66) à un lot de graines pour germer (TMG). Ces résultats de l'amélioration de la durée de germination des graines sont également en parfaite concordance avec ceux de plusieurs auteurs tel que (El-Louzi, 2022 ; EL Serafy *et al.*, 2021 ; De Cássia *et al.*, 2019). Concernant les paramètres du stade de début de croissance ; nous avons noté un effet significatif de diminution de la longueur de la tige des plantules en fonction de la concentration NaCl dans la solution d'arrosage. En effet ces longueurs ont enregistré une diminution de 36.36% et 45.45% respectivement à 3 et 6g/L de NaCl. Ces valeurs se trouvent améliorées notamment à la dose de 3 chez laquelle une amélioration de la longueur de la tige avec une proportion de 22.73% comparativement au lot germé sous la même dose de sel sans avoir été traité au Silicium. Concernant la longueur des racines, nous avons signalé une également une diminution des

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

valeurs suivant l'intensité du stress. En effet, une restriction de 41.67% par rapport au témoin a été mesurée. Cette réduction s'intensifie avec les fortes doses de NaCl. Avec l'apport du Silicium une amélioration a été observé mais uniquement à la plus faible dose testée à savoir 3g/L de NaCl avec une proportion de 8.33%. Comme pour les paramètres précédant ; l'accumulation de la biomasse par les plantules enregistré une déperdition de biomasse à hauteur de 26.53% et 36.74% à 3 et 6g/L de NaCl. L'amélioration de ce paramètre avec l'apport de silicium a été observé uniquement dans les traitements témoins, 3 et 6g/L NaCl. A titre d'exemple l'apport du silicium sur ce paramètre est de 26.53% à la salinité de 3g/L, ces résultats correspondent à d'autres travaux qui ont signalée les mêmes constatations chez plusieurs espèces comme le blé dur (Chaffai *et al.*, 2017), la tomate cerise (Rahmane *et al.*, 2021) et le pois fourrager (Ikene *et al.*,2023).

Des données bibliographiques ont montré que la salinité réduit le taux de germination et la viabilité de l'embryon, il diminue également la teneur des plantes en azote et en  $K^+$  et augmente celle du  $Na^+$ . An niveau de la graine, le sel induit souvent une réduction de la capacité germinative ou même une inhibition totale dans le cas de stress sévères. Ces conséquences sont dû à la perturbation du processus enzymatique de mobilisation des réserves de l'albumen vers l'embryon. Cette restriction de la germination est concomitante à un stress oxydant reflété par des fortes accumulations en malonyldialdéhyde (MDA) et en peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) et une toxicité ionique manifestée par une chute du rapport  $K^+/Na^+$ .

Cependant l'application de silicium réduit les niveaux de sodium ( $Na^+$ ) dans les feuilles et les racines des plantes, ce qui renforce leur résistance au stress salin (Tahir *et al.*, 2006 ;Tuna *et al.*,2008) .

D'autres études ont également mis en lumière le rôle crucial du silicium dans l'amélioration de la résistance au stress salin chez diverses espèces végétales, en favorisant une meilleure gestion de l'eau et une nutrition hydrominérale optimisée (Ahsan Farooq *et al.*,2013 ;Bharwana *et al* ,2013 ;Alayat,2015).

Le Silicium induit une forte accumulation de la proline et améliore la germination, la viabilité des embryons et la mobilisation des réserves. Il induit également une forte activité de la catalase (CAT) et du superoxyde dismutase (SOD) et réduit la teneur en MDA et en  $H_2O_2$ (El Moukhtari ,2022).

L'effet bénéfique du silicium pourrait résulter de sa nature hydrophile, qui protège les

*Conclusion générale et perspectives*

## Conclusion générale et perspectives

L'utilisation du silicium (silice) comme outil d'atténuation des effets néfastes de la Salinité chez les plantes, qui est considéré comme un élément minéral abondant de la croûte terrestre après l'oxygène est connu pour ses effets bénéfiques pour la germination des plantes et le rendement de différentes cultures.

Notre étude est menée dans l'objectif d'estimer l'effet bénéfique de silicate de sodium pour atténuer des dommages causés par la salinité sur le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) variété HD 1220 qui est considéré comme une céréale à intérêt alimentaire.

Au terme de cette étude nous pouvons conclure que le *Triticum aestivum* L. est une espèce glycophte (sensible à la salinité). Les résultats ont montré une diminution du taux de germination à partir de 3 g/l de NaCl, Cette diminution s'intensifie en fonction de degré de stress.

Par ailleurs ; nous avons enregistré l'apport du silicate de sodium dans l'amélioration des paramètres de germination et du début de croissance. Ceci est un complément aux données bibliographiques déjà mise en évidence du rôle de ce minéral dans le renforcement des performances morphologique, physiologique et métabolique du blé sous les conditions environnementales contraignantes. Le silicium se caractérise par ses effets mécaniques et physiologiques qui favorisent l'absorption d'eau ainsi que de minéraux essentiels comme le potassium, tout en diminuant l'absorption de sodium.

En perspectives, il serait intéressant de :

- Rechercher les méthodes les plus efficaces, économique et pratique pour appliquer le silicium aux cultures.
- Il est recommandé d'inclure le silicium dans la formulation des engrais en raison de ses nombreuses propriétés bénéfiques pour les plantes.
- Approfondir les recherches sur les mécanismes d'absorption, de transport et d'accumulation du silicium par les systèmes racinaires des plantes.

## **Références bibliographiques**

**Abbasdokht H, 2011.** The effect of hydropriming and halopriming on germination and early growth stage of wheat (*Triticum aestivum* L.). Desert, 16(1): 61- 68.

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

**Allen G, J, Muir, S, R, and Sanders, D, 1995.** Release of Ca<sup>2+</sup> from individual plant vacuoles by both InsP<sub>3</sub> and cyclic ADP-ribose. Science 268(5211): 735-737.

**Anonyme, 2006.** Céréales et légume sec. Wageningen, Pays-Bas, 200p.

**Ashraf M, 2002.** Salt tolerance of cotton: some new advances. Crit. Rev. Plant Sci. 21 (1): 1-30

**Aslan D, Zencirci N, Etöz M, Ordu B, Bataw S, 2016.** Bread wheat respond salt stress better than einkorn wheat does during germination. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 40(5): 783-79

**Bachir Bey I, et Soumatia N, 2015.** Contribution à l'étude de l'effet de la fréquence d'irrigation sur la production du blé dur sur des sols lourds en zone semi-aride ; Mémoire de Master ; Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 67p.

**Bajji M, 1999.** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés in vitro. Thèse de Doctorat. Univ. Louvain.

**Battinger R, 2002.** La photosynthèse. Educagri édition, Dijon.

**Bebba S, 2011.** Essai de comportement de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* L. var. Carioca et Vitron) conduite sous palmier dattier au niveau de la région de Ouargla. Mémoire d'Ingénieur d'État en Agronomie Saharienne, Université Kasdi Merbah – Ouargla. 71p.

**Benbelkacem F, Saldi A, Brinis, 1995.** La recherche pour la qualité des blés en Algérie , Séminaire de blé dans la région méditerranéenne , N° 22.

**Benbelkacem A, 2007.** Les triticales : cultures, performances et différentes possibilités d'utilisation en Algérie. Journée techniques sur la culture du triticales en zone semi aride et son utilisation par les animaux domestique. Thèse doctorat, Oum Elbouagui-Elkhroub, 17-18.

**Ben mbarek K, et Mohsen B, 2017.** Manuel de granes cultures- les céréales.

**Benderradji L, Bouzezour H, Kellou K, Ykhlef N, Brini F, Masmoudi K, Djekoun A, 2010.** Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L) soumises à un stress salin Sciences & Technologie. C , Biotechnologies :23-30

- Benderradji L, 2013.**Sélection in vitro pour la tolérance aux stress salin et thermique chez blé tendre. Mémoire doctorat, université Constantine. 143p.
- Bernstein L, 1975.** Effect of salinity and sodicity on plant growth. Annual Review of Phytopathology 13: 295-312.
- Bharwana S A, Ali S, Farooq MA, Iqbal N, Abbas F , 2013.** Alleviation of Lead Toxicity by Silicon is Related to Elevated Photosynthesis, Antioxidant Enzymes Suppresses Lead Uptake and Oxidative Stress in Cotton. J Bioremed Biodeg, 4, 187.
- Bonjean A, 2011 .**Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre (*Triticum aestivum*). dossier de l'environnement de l'INRA, N°21 :30-37.
- Bouati M, Bougattouche N, Saadaoui W, 2020** Etude de la réponse de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) au stress hydrique. Université 8 Mai 1945 Guelma. Mémoire de master. Algérie. 64p.
- Boulal H, Zaghouane O, EL Mourid M, et Rezgui S, 2007.** Guide pratique de la conduite Céréales d'automne, Dalil Al Fallah. Version 1.0.
- Bouzoubaâ and Taoufiq, 2008.** Effet de la fertilisation silicatée sous trois régimes de fertilisation 60 – 80 et 100% sur la croissance et le rendement de le haricot plat en hors sol sous serre. Rapport annuel INRA/CRRA/Agadir pp39-41.
- Bouzoubaâ Z, Ait Lhaj A et Mimouni A, 2009.** Le silicium ; levier minéral indispensable pour une agriculture durable du Maroc, Symposium international « Agriculture durable en région Méditerranéenne », Maroc, 14-16 mai 2009.
- Bouzoubaâ Z, Alaoui A; Mimouni A; Laamim M; et Ait Lhaj A, 2004.** Etude sur le rôle du silicium en agriculture : Effet sur la production et la qualité des fruits, légumes et grandes cultures, Institut National de la Recherche Agronomique Maroc - Centre Régional de la Recherche Agronomique Agadir, p 29, Etude réalisée dans le cadre d'une convention INRA/Agro-solutions. Rapport préliminaire 2003-2004.
- Brahimi A, 2017 .**Variations phénotypiques pour la tolérance aux stress salin et hydrique chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Mémoire de Master. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA. 76p.
- CIC, 2016.** Conseil international des céréales. Les statistiques mondiales, calculées par la CIC, Marché des céréales 399.
- CCI, 2018.** Évaluation de la production de blé 2017/2018.

- Chaffi 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 UNIVERSITE LARBI TEBESSI .50P.
- Chartzoulakis K, Klapaki G, 2000** .Response of two green house pepperhybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hortic.* 86, 247–260.
- Chellali B, 2007.** Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghreb.dz.com/admin/folder01/une.pdf>.
- Clement G, et Prats J, 1970** .Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed. 351p.
- Côme D, (1970).** Les obstacles à la germination. Edition Masson et Cie. Terminologie, pp : 9-10.
- COME D, 1975.** Rôle de l'eau, de l'oxygène et de la température dans la Germination. p (27-29).
- Dubcovsky 2007, S Chao, w Zhang, M** sorrells -Crop escholarship.org-Science.47(3), 1018, 1030 .
- Duron, 1999.** Le Transport Maritime des Céréales. Mémoire de D.E.S.S.
- El Moukhtari, 2022.** Université sultan Moulay Slimane ( Beni Mellal., Maroc) .
- El-Serafy Et, Al. .2021.** Seed Priming with Silicon as a Potential to Increase Salt Stress Tolerance in *Lathyrus odoratus*. 20p.
- Epstein E, 1994.** The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 91:11-17.
- Epstein E, 1999.** Silicon. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50: 641-644.
- Événari M, (1957)** .Les problèmes physiologiques de la germination. *Bulletin Société Française Physiologie Végétale*, **3(4)**: 108.
- Exley C, 1998.** Silicon in life: a bioinorganic solution to bioinorganic essentiality. *Journal of Inorganic Biochemistry.* 69: 139-144.
- Faure G, 1991.** Principles and application of inorganic geochemistry. New York: MacMillan.
- FAO, (2016). WFP, 2015.** The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress. Food and Agriculture Organization Publications, Rome. **CCI, (2018).** Évaluation de la production de blé 2017/2018.

- FAO, 2017.** <file:///C:/Users/tassili/Downloads/Documents/a-I7658f.pdf>.
- FAO, 2019.** <http://www.fao.org/3/CA5040FR/CA5040FR.pdf>.
- Feuillet P, 2000.** le grain de blé, composition et utilisation, Editions QUAE, P,308.
- Flowers TJ, 2004.** Improvingcropsalttolerance. J Exp Bot 55(396): 307-319.
- Francois LE, and EV Maas, 1999.** Crop response and management wheat of salt-affectedsoils. In: M. Pessaraki (Ed.) Handbook of plant and crop stress, Second ed. Marcel Dekker, Inc. New York. p. 169–201.
- Fritas S, 2012.** Etude bioécologique du complexe des insectes liés aux cultures céréalières dans la région de Batna. Mémoire de Magistère, universite Abou Bakr Belkaid.Tlemcen, 115p.
- Glenn EP, Pfister R, Brown J, Thompson T L et O’Leary J, 1996** Na and K accumulation and salt tolerance of *Atriplex canescens* (Chenopodi-aceae) genotypes. *Am. J. Bot.* **83**: 997–1005.
- Gong JM, Lee DA and Schroeder JI, 2003.** Long-distance root-to-shoot transport of phytochelatins and cadmium in *Arabidopsis*. Proc Natl Acad Sci USA, 100, 10118-10123.
- Hajlaoui H, Maatallah S , et Denden M, 2015.** Effet du stress salin sur l'efficience d'utilisation d'azote et les bilans ioniques chez deux varieties de maïs (*Zea mays* L.) fourragères, journal of animal et plant sciences, Vol.24, Issue 3:3787-3801.
- Heller R,(1995)** Physiologie végétale, tome 2 : développement. Dunod, Paris, 241 p.
- Hodson MJ, White PJ, Maed A et Broadley MR 2005.** Phylogenetic variation in the Silicon composition of plants. *Annales of Botany* 96, 1027-1046.
- Ikene T, 2023.**Role de silicium sur l’atténuation des effets de chlorure de calcium sur les graines du pois fourrager :*pisum sativum* L.variété sefrou .mémoire de fin d’étude .Université Mouloud Mammeri deTizi-Ouzou , 35p.
- Ismail A.M.A, 1990.** Germination ecophysiology in population of *Zygophyllumqatarenses*Hadidi from contrasting habitats. *J. Arid.Environ*,18: 185-194.
- Lachi K,2023.**role du silicium dans l’atténuation des effets du chlorure de calcuim sur la germination des graines du blé tendre (*Triticum aestivum* L .)variété GD1220. Mémoire de fin d’étude Université Mouloud Mammeri deTizi-Ouzou , 39p.
- Lallemand-Barrés A, 1980.** Aménagement des sols salés irrigation avec des eaux salées étude documentaire. Bureau de recherches géologiques et minières service géologique national., 34p.

- Levitt J, 1980.** Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and others stresses. Academic Press, New York, 2: 365- 406.
- Levigneron A, Lopez F, VANSUYT G , BERTHOMIEU P ,FOURCROY P, et CASSE-DELBART F, 1995 .** Les plantes face un stress salin Cahiers Agricultures, 4.263-273.
- Liang YC, Sun WC, Si J, Römheld V, 2005.** Effects of foliar- and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance powdery mildew in *Cucumis sativus*. *Plant Pathol* 54:678-685.
- Maamri K,2011 .** Stabilité du critère de la discrimination du carbone isotopique en relation avec le poids spécifique de la feuille drapeau chez quelques variétés de blé dur cultivées en milieu semi aride. 111p.
- MAAS EV, et POSS JA, 1989.** Salt sensitivity of wheat at various growth stages. *Irrig Sci*:10:29-40.
- Ma J.F, Miyake Y, Takahashi E, 2001.** Silicon as a beneficial element for crop plants. In. Datnoff L.E, Snyder G.H, Korndörfer G.H, eds, *Silicon in agriculture*, Elsevier, Amsterdam. p. 17-39.
- Ma JF, and Takahashi E, 2002.** Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan, Elsevier, Amsterdam. pp 281.
- Madr, 2011.** Ministère de l'agriculture et du développement rural.
- Mazliak P, 1982.** *Physiologie Végétale II : croissance et développement*. Ed. Dumond. pp : 133-225.
- Mekhlouf A , Bouzerzour H, Dehbi F, Hannachi A, 2001.** Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. In *Proceeding Séminaire sur la valorisation des milieux semi-arides*. Université, Oum El Bouaghi.
- Menzies JG, Ehret DL, Glass ADM, Samuels AL., 1991.** The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 39:403-414.
- Mhenni O, 2018.** Etude du comportement de neuf lignées sélectionnées de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) dans la région semi-aride de Sétif 41p.
- Mohammad M, Shibli R, Ajouni M, Nimri L, 1998.** Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *J. Plant Nutr.* 21, 1667–1680.
- Moule C, 1971.** *Céréales Tom 2*. La Maison Rustique –Paris. 95p.
- Munns R, 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25: 239-250.

- Munns R, James RA, Läuchli A, 2006.** Approaches to increasing salt tolerance of wheat and other cereals. *J Exp Bot* 57(5):1025-1043 .
- Naidoo G, & Kift J, 2006.** Responses of the salt marsh rush *Juncus kraussii* to salinity and waterlogging. *Aquatic Botany*, 84:217-255.
- Nor-el-houda, B. O. U. G. A. T. O. U. C. H. E, MAZENA, B, & WISSAME S, 2020.** Etude de la réponse de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) au stress hydrique.
- Ouanzar S, 2012.** Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf), mémoire pour obtenir de diplôme magister ; université Abed ALHAMID Ben Badis-Mostaghanem. p15.
- Opfergelt S, 2008.** Silicon cycle in the soil-plant system: biogeochemical tracing using Si isotopes. Thèse de doctorat. Université catholique de Louvain. 311p.
- Rahmane K, et al., 2021.** Effet du silicate de potassium sur la germination des graines de la tomate cerise stressée à la salinité (*Solanum lycopersicum* var. *cesariforme*). Mémoire de fin d'étude . Université Ibn Khaldoun Tiaret. P33.
- Rengasamy P, 2006.** World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany* 5: 1017-1023.
- Řezanka T, et Sigler K, 2008.** Biologically active compounds of semi-metals. *Phytochemistry*, 69, 585–606.
- Siouda A, Benkhelifa Z, 2016.** Etude écophysiological de quelques écotypes de blé dur dans les régions semi-arides de Setif. *Univ Med El-ibrahimi B.B.A. setif*. P11.
- Soltner, 1980.** Les grandes productions végétales, collections de sévices des techniques agricoles ....p.
- Soltner, 2000.** Phytotechnie générale : les bases de la production végétales. Tome 1 : le sol et son amélioration science technique agricoles 2<sup>ème</sup> édition. 467p.
- Tahir MA, Rahmatullah T, Aziz M, Ashraf S, Kanwal S, Muhammad A, 2006.** Beneficial effects of silicon in wheat (*Triticum aestivum* L) Under salinity stress. *Pak.J.Bot*, 38(5):1715-1722.
- Talamil, 2000.** La libération du marché des céréales en Algérie office algérien interprofessionnel des céréales OAIC Acte du premier symposium internationale sur la Filière blé , Alger , Algérie , P.11- 18.
- Tanji K, 1990.** Nature and extent of agricultural salinity. In: Tanji KK (Eds.) *Agricultural Salinity Assessment and Management. Manuals and Reports on Engineering Practices* No.
- Tuna A, L Kaya C, Higgs D, Murillo-Amador B, Aydemir S, Girgin A.R, 2008.** Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environ Exp Bot* 62:10-16

**Wang Y, Nil N, 2000:** Changes in chlorophyll, ribulosebiphosphate carboxylase– oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthustricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 75, 623–627.

## Résumé

Notre travail est réalisé sur une espèce appartenant à la famille des céréales, le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) variété HD 1220. Nous avons étudié d'une part l'impact de NaCl, considéré comme un sel très abondant dans les solutions du sol sur la germination et début de croissance des plantules de cette espèce, d'autre part nous avons étudié l'effet du silicate de sodium sur la réponse des graines à cette contrainte saline. Nos résultats ont clairement démontré une diminution de taux de germination (TG) en condition de stress salin à titre d'exemple à la dose 6g/l de NaCl le TG a enregistré une chute de 42.16%. De même pour les paramètres de croissance, une diminution a été observée suite à l'augmentation de la concentration de NaCl. Néanmoins, l'apport du silicate de potassium a montré un effet statistiquement significatif pour tous les paramètres de germination et de croissance (le TG a enregistré 55 et 50.83% sous les doses de 9 et 12g/L traité au silicate de sodium et 35.83 et 33.33% respectivement dans le cas non traité). Ces résultats mettent en évidence l'effet bénéfique de silicium contre les effets négatifs de contrainte saline du sol.

**Mots clés :** blé tendre HD1220, stress salin (NaCl), silicium, taux de germination.

## Abstract

**Our work was carried out on a species belonging to the cereal family, common wheat (*Triticum aestivum* L.) variety HD 1220. We studied the impact of NaCl, considered a very abundant salt in soil solutions, on the germination and early growth of seedlings of this species, as well as the effect of sodium silicate on seed response to this salt stress. Our results clearly demonstrated a decrease in germination rate (TG) under salt stress conditions. For example, at a dose of 6g/l NaCl, TG fell by 42.16%. Similarly, growth parameters decreased with increasing NaCl concentration. Nevertheless, the addition of potassium silicate showed a statistically significant effect for all germination and growth parameters (TG recorded 55 and 50.83% under the sodium silicate-treated doses of 9 and 12g/L and 35.83 and 33.33% respectively in the untreated case). These results highlight the beneficial effect of silicon against the negative effects of soil saline stress.**

**Key words:** HD1220 soft wheat, salt stress (NaCl), silicon, germination rate .