

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Ibn Khaldoun–Tiaret  
Faculté des sciences de la nature et de la vie  
Département des sciences de la nature et de la vie



Mémoire de fin d'études  
En vue de l'obtention du diplôme de Master académique  
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie  
Filière : Sciences Biologiques  
Spécialité : génétique moléculaire et amélioration des plantes

Présenté par :  
M<sup>elle</sup> GUEROU Khalida  
M<sup>elle</sup> BOUDJELLA Faten

## Thème

**L'effet de silicate de potassium sur le comportement d'une  
halophyte *Atriplex halimus*. L stressée à la salinité**

Soutenu publiquement Juin 2019 devant le jury composé de :

<b>Président</b>	Mr ADDA A.	Professeur	Université de Tiaret
<b>Examineur</b>	Mr NEGADI M.	Docteur	Université de Tiaret
<b>Promotrice</b>	Mme SOUALEM S.	Maître de Conférences "B"	Université de Tiaret

Année universitaire: 2018/2019

## ***REMERCIEMENTS***

Tout d'abord, louange à « ALLAH » qui nous a guidé sur le chemin droit tout au long du travail et nous a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti.

Nous remercions particulièrement nos parents qui nous ont aidé et pour leurs conseils et leurs orientations ; ainsi pour leurs encouragements dans les moments de doute.

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer toute nos reconnaissances et remerciements à notre promotrice **Mme SOUALEM S.**, pour ses conseils, ses orientations ainsi que son soutien scientifique nous ont permis de mener à terminer ce travail.

**Aux membres de jury,**

**Mr. ADDA A.**, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de ce travail. Qu'il soit ici remercié pour avoir accepté cette tâche et pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail.

**Mr. NEGADI M.**, qui a bien voulu accepter d'examiner ce travail, et qui nous a fait l'honneur par sa présence.

C'est aussi un grand plaisir d'exprimer nos remerciements au personnel du laboratoire.

Nos remerciements s'adressent aussi au personnel de la bibliothèque de la faculté des sciences de la nature et de la vie.

Nous voulons remercier aussi notre promotion de master génétique moléculaire et amélioration des plantes.

Enfin toute nos reconnaissances sont adressées à tous ceux et celles qui nous ont aidé dans la réalisation de ce travail et soutenus dans les moments difficiles.

## **DÉDICACE**

Je tiens tout d'abord à dédier ce travail à mon père et ma mère  
qui m'ont toujours accompagné tout au long de ma vie par leurs  
précieux conseils, par leur amour et leur dévouement.

A mes sœurs et mes frères en leur souhaitons à toutes bonne réussites  
dans leur vie, a toutes ma famille.

A ma collègue et ma sœur de travail Faten et son famille

A tous mes ami(e)s : Aicha, Fouzia, Meriem ...et à tous membre de ma promotion.

**KHALIDA**

## DÉDICACE

JE TIENS À DÉDIER MON TRAVAIL À :

MA TRÈS CHÈRE MÈRE, QUELLE TROUVE ICI L'HOMMAGE DE MA GRATITUDE QUI, SI GRANDE QU'ELLE PUISSE ÊTRE, NE SERA À L'HAUTEUR DE CES SACRIFICES ET ES PRIÈRE POUR MOI ;

MON CHER PAPA, QUI M'A BIEN ÉLEVÉ ET ÉDUQUÉ ;

MES CHÈRES SCEURS MERIEM ET RIM À QUI JE SOUHAITE BEAUCOUP DE RÉUSSITE ET DE BONHEUR

MA CHÈRE COPINE KHALIDA ET COLLÈGUE DE TRAVAIL ET TOUS MES CAMARADES DE LA

PROMO 2019

MES COUSINS ET COUSINES ,IBRAHIM, KHEIRA , KARIMA ,NAKHELA ,NADIA ,WALID ,KAMEL ,

BILAL ,ISHAK ,RABEH ;DJAWED ET YOUSRA.

MES MEILLEURS AMIES, ALIA, SABRINA ,SARA ,KAHINA ,NESSRINE ,AMEL,RADIA ET

TOUS CEUX QUE J 'AIME ET TOUS CEUX QUI M'AIMENT .

FATEN

## Résumé :

La salinité constitue le principal stress abiotique limitant considérablement la productivité végétale au stade germinative. Le travail présenté traite l'effet de silicate de potassium sur le comportement d'une halophyte l'Atriplex halimus en présence ou absence du NaCl à différentes concentrations (300 ,500 mM). Les résultats obtenus démontrent que l'apport de silicate de potassium se traduit par un effet bénéfique et améliorant sur le taux de germination ,le taux d'imbibition ,la croissance racinaire ,ceci étant associé à une augmentation de la teneur en sucres et une diminution du taux d'amidon et de protéines .

Mots clés : la salinité ,Atriplex halimus ,la germination ,NaCl ,silicate de potassium .

## ملخص:

الملوحة من أهم العوامل البيولوجية التي لها تأثير سلبي على الإنتاج النباتي خلال مرحلة الإنبات .يعالج العمل المقدم تأثير سيليكات البوتاسيوم على سلوك القطف الملحي في وجود أو غياب كلور الصوديوم بتركيزات مختلفة (300 و500 مم). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن تناول سيليكات البوتاسيوم له تأثير مفيد و محسن لمعدل الإنبات،معدل الإشباع، نمو الجذر و يرتبط هذا بزيادة في نسبة السكر و انخفاض في مستويات النشاء والبروتين.

الكلمات المفتاحية :  
الملوحة ،القطف الملحي ، الإنبات ، كلور الصوديوم ، سيليكات البوتاسيوم .

## Abstract :

Salinity is one of the most important biological factors that have a negative effect on plant production during the germination stage.

The work presented deals with the effect of potassium silicate on the behavior of salt saline in the presence or absence of sodium chloride at a different concentration (300 and 500 mm).

The results obtained showed that potassium silicate treatment had a beneficial and improved effect on germination rate, saturation rate and root growth. This was associated with an increase in sugar content and a decrease in the level of starch and protein.

Key words:

Salinity ,atriplex halimus ,germination , sodium chlorid , potassium silicate

# *Table des matières*

*Liste des abréviations*

*Liste des figures*

*Liste des tableaux*

*Liste des photos*

Introduction .....	1
<b>I. Synthèse bibliographique</b>	
<b><i>I. Atriplex halimus L</i></b>	
Description taxonomique .....	3
Botanique et génétique d' <i>A. halimus</i> .....	4
Intérêts de l' <i>Atriplex halimus L</i> .....	4
Intérêt écologique .....	5
Intérêt économique .....	5
Intérêt médical .....	5
<b>II. Les plantes face au stress salin</b>	
Terminologie du stress .....	6
Le stress salin .....	6
Stratégie d'adaptation au stress salin .....	6
La compartimentation vacuolaire .....	6
Exclusion des ions toxiques .....	7
Ajustement ionique .....	7
Stratégie osmotique .....	7
L'accumulation des sucres .....	8
<b>III. Le silicium</b>	
Le silicium dans la plante .....	9
Teneurs dans la plante .....	9
Absorption Transport et accumulation du silicium dans la plante .....	9
Effets du silicium sur la plante .....	10
Effet du silicium sur les plantes stressées à la salinité .....	10
<b>II. Matériel et méthodes</b>	
I. Objectif de l'expérimentation .....	12
II. Matériel végétal .....	12

III. Conditions d'expérimentation et conduite de l'essai .....	12
Conduite de l'essai .....	12
Conditions de mise en germination des graines.....	12
IV. Paramètres étudiés.....	13
Le taux d'imbibition.....	13
Le taux de germination des graines .....	13
Longueur de la radicule.....	13
Dosage des sucres solubles .....	14
Dosage des protéines.....	14
Dosage de l'amidon .....	15
Extraction de l'amidon total .....	15
V. Analyses statistiques.....	16

### **III. Résultats et discussion**

#### **Résultats**

Effet de la salinité et de silicate de potassium sur le taux de germination.....	17
Effet de la salinité et de silicate de potassium sur le taux d'imbibition.....	19
Effet de la salinité et de silicate de potassium sur le taux de sucres .....	20
Effet de la salinité et de silicate de potassium sur le taux de protéines .....	20
Effet de la salinité et de silicate de potassium sur le taux d'amidon .....	21
Effet de la salinité et de silicate de potassium sur la longueur de la radicule.....	22
<b>III.2. Discussion .....</b>	<b>23</b>
Conclusion.....	26

#### Références Bibliographiques

Liste des abréviations

**A.halimus** :Atriplex halimus

**CO<sub>2</sub>**: oxyde Carbone

**Cl** : chlore

**C°**:degré Celsius

**Fig**: figure

**H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>**:acide mono silicique

**H**:heur

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**:mono silicique

**Ms**: matière sec

**mM**: mélimole

**Na**: sodium

**nm**: nanomètre

**Si**: silicate

**SDS** :sodium dodécyl sulfate

**t /mn** : tour par minute

**PEP** :phosphoénolpyruvate

**µl** : microlitre

**µg** : microgramme

**%** : pourcent

## *Liste des tableaux*

**Tableau 01** : Effet de la salinité sur les paramètres liés à la germination.

**Tableau 02** : Résultats moyens des paramètres biochimiques.

## *Liste des photos*

**photo 01** : *Atriplex halimus*.

## *Liste des figures*

**Figure 01** : Le dispositif expérimental utilisé au cours de la germination

**Figure 02**: la longueur de la radicul

**Figure 03** : Expérimentation de dosage des sucres

**Figure 04** : Expérimentation de dosage des protéines.

**Figure 05** : Expérimentation de dosage de l'amidon.

**Figure 06** : Effet de la salinité et silicate de potassium sur le taux de germination.

**Figure 07** : Effet de la salinité et silicate de potassium sur le taux d'imbibition.

**Figure 08** : Effet de la salinité et de silicate de potassium sur longueur de la radicule.

# *Introduction*

## Introduction

Dans les zones arides et semi arides, la salinité des sols est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale (Baatour et *al.*, 2004). La salinisation des sols est non seulement liée aux conditions climatiques, mais aussi à l'utilisation mal contrôlée des eaux d'irrigation et à leur mauvaise qualité.

Pour pallier à cette contrainte environnementale, diverses stratégies peuvent être adoptées. L'apparition de plantes tolérantes à la salinité, a permis de valoriser des surfaces croissantes de ces terres marginales, en particulier par les plantations d'arbustes fourragers.

Les halophytes sont des plantes naturellement tolérantes au sel et poussent aussi bien, voire mieux dans un environnement salin qu'en conditions normales. Elles sont dotées de caractéristiques requises pour tolérer le sel, semblent constituer un outil précieux pour valoriser les zones marginales fortement salées et menacées par la désertification (Reguieg et *al.*, 2012).

En Algérie *A. halimus* est une halophyte autochtone qui pousse généralement sur sols salés et en bordures des chotts et des sebkhas. Son importance fourragère s'explique par son contenu élevé en azote, son adaptation à la sécheresse et à la salure, le maintien de son feuillage vert durant toute l'année et par sa tolérance au pâturage (Nedjimi B., 2012).

La tolérance de cette halophyte aux composantes ionique et osmotique d'un stress salin est liée à leur capacité à synthétiser des osmoprotectants afin de maintenir un équilibre hydrique favorisant la protection des structures cellulaires (Sharma et Dietz., 2003).

L'espèce *Atriplex halimus* répondent différemment à la salinité selon les stades de développement de la plante.

La germination et les premiers stades de croissance sont cruciaux pour l'établissement des espèces se développant dans des environnements salins. Selon les espèces, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique (Bouda et Haddioui, 2011).

La protection contre la toxicité des ions se fait par plusieurs mécanismes qui diffèrent selon la catégorie de la plante.

A cet effet, le silicium (ou silice) pourrait s'avérer une avenue intéressante. Il est reconnue depuis des dizaines d'années pour ses propriétés comme un élément protecteur contre les stress biotique et abiotiques (Ma et al., 2008), notamment la salinité et la sécheresse (Epstein 1999)

C'est dans ce contexte que se situe la question fondamentale de ce travail, à savoir si un traitement en silicium sous forme de silicates de potassium, permet d'augmenter la tolérance de *L'Atriplex halimus* à la salinité en stade de germination.

Le travail s'articule autour de trois principaux chapitres, à savoir une synthèse bibliographique qui fait le point sur l'effet de silicate de potassium et l'adaptation de *l'Atriplex halimus* sur le stress salin. Ensuite, une présentation de la méthodologie de travail et enfin sur la discussion des résultats obtenus.

# *Synthèse bibliographique*

**I. *Atriplex halimus* L**

**1.1. Descripton taxonomique:**

**Systématique**

<b>Embranchement :</b>	Spermaphytes
<b>Sous embranchement :</b>	Angiospermes
<b>Classe :</b>	Dicotylédones
<b>Famille :</b>	<i>Chénopodiaceae</i>
<b>Genre :</b>	<i>Atriplex</i>
<b>Espèce :</b>	<i>Atriplex halimus</i>



**Photo 1 - *Atriplex halimus***

*Atriplex halimus* L. (Amaranthaceae) est un arbuste xérohalophile largement distribué dans les régions arides et semi-arides du bassin méditerranéen jusqu'à l'Arabie Saoudite, à des altitudes inférieures à 900m (Al-Turki et *al.*, 2000). Il pousse sur une variété de sols, de texture fine à grossière, avec des degrés de salinité variables (Walker et *al.*, 2014).

Il existe deux sous espèces, la subsp. *halimus* et la subsp. *schweinfurthii*. La zone de diffusion de la subsp. *halimus* s'étend des zones semi arides aux zones humides ; elle est très commune le long des côtes du bassin méditerranéen. Elle est facilement identifiable grâce à son port droit, à feuillage dense, les branches fructifères sont très courtes (20 cm) et recouvertes de feuilles. Les valves fructifères ont des ailes entières.

En revanche, la subsp. *schweinfurthii* présente un habitus broussailleux son port est intriqué, avec des branches fructifères très enchevêtrées, ces dernières ont une longueur d'environ 50 cm et sont dépourvues de feuilles. Les valves fructifères ont des ailes dentées,

elle est très répandue dans les zones arides et désertiques, mais on la trouve uniquement le long des dépressions en présence de nappes phréatiques (Ben hassine et *al.*, 2008).

### 1.2. Botanique et génétique d'*A. halimus*

*A. halimus* est un arbuste vivace, peut atteindre jusqu'à 3 m de hauteur. Les feuilles sont très variables dans la forme. *A. halimus* possède la voie photosynthétique C4, dans lequel le CO<sub>2</sub> est incorporé dans le phosphoénolpyruvate (PEP) pour former de l'oxaloacétate par l'action de la PEP carboxylase (Zervoudakis et *al.*, 1998). Les feuilles d'*A. halimus* ont l'anatomie de "Kranz" avec une couche de cellules autour de faisceau vasculaire (Walker et *al.*, 2014). La présence d'une couche de poils vésiculaires permet à cette espèce de tolérer au stress salin (Mozafar et Goodin, 1970).

C'est un arbuste dont le feuillage présente un aspect blanc argenté, pouvant atteindre un à deux mètres de hauteur. L'écorce a une coloration grise blanchâtre et les tiges sont ligneuses (Bonnier et Douin, 1996).

Le système racinaire pivotant présente un fort développement chez *Atriplex halimus* L. pouvant atteindre 10 m de profondeur (Le Houerou, 1992). D'après Talamali et *al.*, (2001), *Atriplex halimus* L. présente un polymorphisme plus important que celui des autres espèces du même genre. Ils ont observé une grande variabilité dans la structure des fleurs, même au sein de populations très réduites, telles des plantes maintenues en collection dans des conditions contrôlées.

### 1.3. Intérêts de l'*Atriplex halimus* L.

#### ❖ Intérêt écologique

Le repeuplement à base de buissons fourragers tel que l'*Atriplex halimus* L. constitue une excellente solution, pour le problème de désertification qui se manifeste par le recul des zones boisées, soit par exploitation non contrôlée soit par incendie ou autre ravage, soit par la perte de végétation de zones steppiques à vocation pastorale. Ces plantes possèdent un système racinaire très développé qui leur permet d'utiliser les réserves d'eau du sol de façon exhaustive et de former un réseau dense susceptible d'agrèger le sol et de le rendre résistant à l'érosion (El Mzouri et *al.*, 2000)

#### ❖ Intérêt économique.

L'*Atriplex halimus* L. est utilisée fondamentalement comme plante fourragère pour ses valeurs nutritives, elle est utilisée par les ovins, et les Camélidés, contribuant ainsi à l'alimentation des populations (Hamadech et *al.*, 2000).

#### ❖ Intérêt médical

Son feuillage est utilisé comme plante médicinale dans la pharmacopée traditionnelle (Dutuit, 1999). Selon Dey et *al.*, (2002), au cours d'une étude menée chez les rats de sable, il a été constaté qu'ils développent un diabète de type 2 s'ils sont privés de consommation d'*Atriplex halimus* L.

## II. Les plantes face au stress salin

### 2.1. Terminologie du stress

Selon **Hopkins (2003)**, le stress est toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par contre, **Marouf et reynaud (2007)** rapportent que le stress est l'ensemble des perturbations physiologiques ou pathologiques provoqués dans un organisme par des agents biotiques et abiotiques.

### 2.2. Le stress salin

Le stress salin agit par deux composantes liées :

- Une composante ionique à action surtout toxique mais aussi nutritionnelle.
- Une composante hydrique de nature osmotique.

Les deux effets agissent sur la balance énergétique de la plante, ils entraînent des coûts énergétiques dus à la régulation d'ions et à l'ajustement osmotique (Pasternak, 1987 cité par Majurus, 1996).

Levitt (1980) qualifie de secondaire le stress osmotique et celui de déficience nutritionnelle, et de primaire le stress de toxicité ionique. Selon lui, le stress primaire présente deux actions : une première action directe liée aux dégâts membranaires et principalement aux changements des lipides et à la dénaturation des protéines, et une deuxième action indirecte due à la perturbation du métabolisme.

### 2.3. Stratégie d'adaptation au stress salin

#### 2.3.1. La compartimentation vacuolaire

Celle-ci consiste à évacuer du cytoplasme les ions  $\text{Na}^+$  en excès vers la vacuole afin d'éviter leur effet toxique et inhibiteur à l'encontre des processus enzymatiques (Yamaguchi et Blumwald 2006).

Ainsi, grâce à ce processus de compartimentation de sodium au sein de la vacuole, la cellule parvient à maintenir une faible concentration de sodium dans le cytoplasme, minimisant ainsi son effet toxique; et d'autre part, l'augmentation concomitante de la concentration de sodium dans la vacuole va engendrer une forte pression osmotique qui va favoriser l'absorption d'eau et donc améliorer la turgescence des cellules (Apse et Blumwald 2007). *L'A. halimus* accumule  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  et d'autres anions, dans ses tissus en les stockant dans les vacuoles (Walker et al., 2014). Les poils vésiculaires sur la surface des feuilles agissent également comme un puits de sel (Mozafar et Goodin, 1970).

### **2.3.2. Exclusion des ions toxiques**

L'autre stratégie permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique (Munns 2005). La régulation qualitative et quantitative du transport des ions permet de maintenir la concentration ionique dans une gamme de valeurs compatibles avec un métabolisme cellulaire normal. L'exclusion commence avec la sélectivité de la membrane racinaire, ce qui peut résulter d'une réduction de la perméabilité passive, de la présence de transporteurs sélectifs et d'un transport vers le milieu extérieur des ions déjà absorbés (Apse et Blumwald 2007). Tous ces mécanismes ne sont pas exclusifs, et la résistance des plantes dépend souvent d'une série de mécanismes potentiellement additifs. Ces modifications provoquent une déviation du métabolisme qui entraîne une dépense énergétique.

### **2.3.3. Ajustement ionique**

L'augmentation des concentrations vacuolaires de sodium induit la nécessité et le besoin d'élever la pression osmotique des autres compartiments cellulaires afin de maintenir leur volume (Amtmann et Leigh 2010). Quoique la synthèse et l'accumulation de composés solubles compatibles contribue au maintien de la croissance cellulaire en conditions de stress ionique, les plantes ont développé d'autres moyens non moins efficaces tels que l'ajustement ionique afin de réduire et d'équilibrer la concentration d'ions dans le but d'ajuster la pression osmotique au niveau du cytoplasme (Shabala et Cuin 2007). Ce dernier objectif peut être assuré par une augmentation des concentrations de potassium, outre celle des composés osmotiques compatibles (Munns et Tester 2008). En outre, le potassium joue un rôle également dans le contrôle de la turgescence cellulaire (Sairam et Tyagi 2004).

### **2.3.4. Stratégie osmotique**

On retrouve des stratégies d'adaptation communes au stress salin et au stress hydrique. D'une part, il existe des stratégies qui font appel à des modifications plutôt d'ordre physique : réduction de l'hydratation cellulaire, réduction du volume cellulaire, modification d'élasticité des parois cellulaires et augmentation de la conductivité hydraulique. D'autre part, il existe des stratégies plutôt d'ordre chimique et en particulier l'ajustement osmotique (Yeo 1983). Cet ajustement se retrouve chez la grande majorité des organismes vivants pour le maintien de l'alimentation hydrique et de la pression de turgescence (Yeo 1983, Niu et al. 1995, Bohnert & Shen 1999). Ce processus se fait en modifiant les concentrations de solutés compatibles

dans les tissus de façon à maintenir une concentration ionique plus élevée (hypertonique) dans le protoplasme que dans le milieu extérieur (hypotonique) (Hasegawa et al. 2000).

### III. Le silicium

Le Silicium est un élément minéral qui est très présent dans le sol, mais sous forme de  $\text{SiO}_2$  non disponible à la plante. Sa forme soluble est l'acide ortho-silicique  $\text{Si}(\text{OH})_4$  très peu présente dans le sol. Il représente le deuxième élément le plus abondant de la croûte terrestre après l'oxygène (Epstein, 1999). Le cycle du silicium peut être divisé en deux parties : un cycle continental et un cycle marin (Exley, 1998).

Dans le cycle continental, le silicium présent dans les minéraux primaires est libéré sous forme d'acide monosilicique ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) dans la solution du sol via l'altération.

Au cours du développement du sol, une partie du silicium peut être lessivée et se retrouvée dans les eaux de surface ou souterraines. Le cycle terrestre alimente ainsi le cycle marin en silicium soluble via les rivières (Exley, 1998). Une fois dans les océans, ce dernier est prélevé par les organismes planctoniques marins (principalement les diatomées) (Tréguer et al., 1995). A leur mort, le silicium biogénique accumulé par ces organismes va soit se redissoudre, soit sédimenter dans le fond des océans (Tréguer et al., 1995).

#### 3.1. Le silicium dans la plante

##### 3.1.1. Teneurs dans la plante

Le silicium étant un des éléments les plus abondants dans les sols, toutes les plantes terrestres en contiennent (Ma et Yamaji, 2006). Cependant, des déficiences en Si peuvent se produire par exemple sur les sols cultivés de manière continue avec des cultures très demandeuses (comme le riz) ou dans des régions soumises à de fortes pluies menant à de hauts degrés d'altération, lessivage et désilicification (Datnoff et al., 2007). Le contenu en silicium des plantes peut aller de 0,1% à 10,0% de Si par rapport au poids sec (Richmond and Sussman, 2003).

##### 3.1.2. Absorption Transport et accumulation du silicium dans la plante

Le silicium est prélevé par les racines sous forme d'acide monosilicique non-chargé [ $\text{Si}(\text{OH})_4$ ] présent dans la solution du sol lorsque le pH est inférieur à 9 (Ma et Takahashi, 2002). Le mode de prélèvement varie selon les espèces végétales (Ma et Yamaji, 2006).

Le mouvement de l'acide monosilicique à travers les tissus implique l'apoplasme, c'est-à-dire les parois cellulaires et les espaces intercellulaires, mais aussi les vaisseaux du xylème, et le symplasme (Raven, 2001). Le transport se fait par diffusion et flux de masse (Raven, 2001).

Arrivé dans les parties aériennes, l'acide monosilicique est concentré via la transpiration puis polymérise sous forme de silicate amorphe, autrement appelé opale ou phytolithe ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), lorsque la concentration dépasse le niveau critique, qui est de 2 mM à 25°C (Ma and Yamaji, 2006).

Une fois polymérisé, le silicium est immobile et n'est plus disponible pour d'autres parties de la plante (Fawe, 2001). Plus de 90% du silicium total présent dans la plante est sous forme de phytolithe. La plus grande partie du Si dans la plante se trouve donc sous forme polymérisée (Fawe, 2001). La taille et la forme des phytolithes varient selon l'espèce végétale et les conditions physico-chimiques lors de leur formation (Faurteux, 2005).

Les dépôts de silicium se forment dans les parois cellulaires, le lumen des cellules, les espaces intercellulaires et extracellulaires des tiges et des feuilles, mais aussi dans les racines et les inflorescences (Sangster et al., 2001, et se concentre généralement davantage dans les tissus âgés (Ma and Yamaji, 2006).

### **3.2. Effets du silicium sur la plante**

Selon Rice (2007), le silicium serait un micronutriment dont la plante a besoin en très petites quantités. Pour Ma et al. (2008), il est typiquement un élément bénéfique mais pas essentiel car les effets positifs sont observés sur certaines plantes mais pas sur toutes et se manifestent principalement en conditions de stress. Il a été prouvé sur différentes plantes que le silicium a de nombreux effets bénéfiques sur les plantes. Ces effets sont surtout visibles sur les cultures qui accumulent activement le silicium, tels que le riz, le maïs et la canne à sucre (Ma et al., 2001).

Une augmentation de la biomasse a été observée chez la canne à sucre, une autre plante accumulatrice de Si (Ma et Takahashi, 2002). Selon le même auteur, des effets positifs ont également observé sur la tomate, le concombre, le soja, le coton et le fraisier.

### **3.3. Effet du silicium sur les plantes stressées à la salinité**

Le Si est connu comme un élément protecteur contre les stress biotique 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 (Yin et al., 2013).

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. Gong et *al.*, (2006) ont suggéré que l'un des mécanismes possible responsable de la détoxification 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'exoderme et l'endoderme réduit la translocation de sodium par réduction de son transport apoplasmique à travers les racines.

\*

# *Matériel et méthodes*

## Matériel et méthodes

### I. Objectif de l'expérimentation

Notre travail consiste à l'étude des effets de silicates de potassium sur les aspects physiques et biochimiques de la germination des graines d'*Atriplex halimus* soumises à différents niveaux de salinité.

### II. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est composé de graines d'*Atriplex halimus* L. provenant de station naturelle de Djelfa à 300 Km au sud d'Alger, localisées dans l'étage bioclimatique semi-aride.

### III. Conditions d'expérimentation et conduite de l'essai

#### 3.1. Conduite de l'essai

L'expérimentation est conduite au niveau du laboratoire de physiologie végétale de la faculté des Sciences de la nature et de la vie de l'université IBN KHALDOUN de Tiaret.

#### 3.2. Conditions de mise en germination des graines

Les graines sont décortiquées manuellement et stérilisées dans une solution d'hypochlorite de sodium pendant 20 min. Par la suite elles sont rincées à l'eau distillée et mises à germer dans des boîtes de Petri tapissées de papier filtre. Dans chaque boîte de Petri sont versées : 10 ml d'eau distillée (témoin), 10 ml de silicate de potassium (Sil), et 10 ml de solution saline à 300mM et 500mM de NaCl avec ou sans silicate (300mM, 500mM, 300mM+Sil et 500mM+Sil). Chaque boîte porte 50 graines, soit 4 répétitions pour chaque traitement. La germination est faite dans une étuve à une température de 25°C.

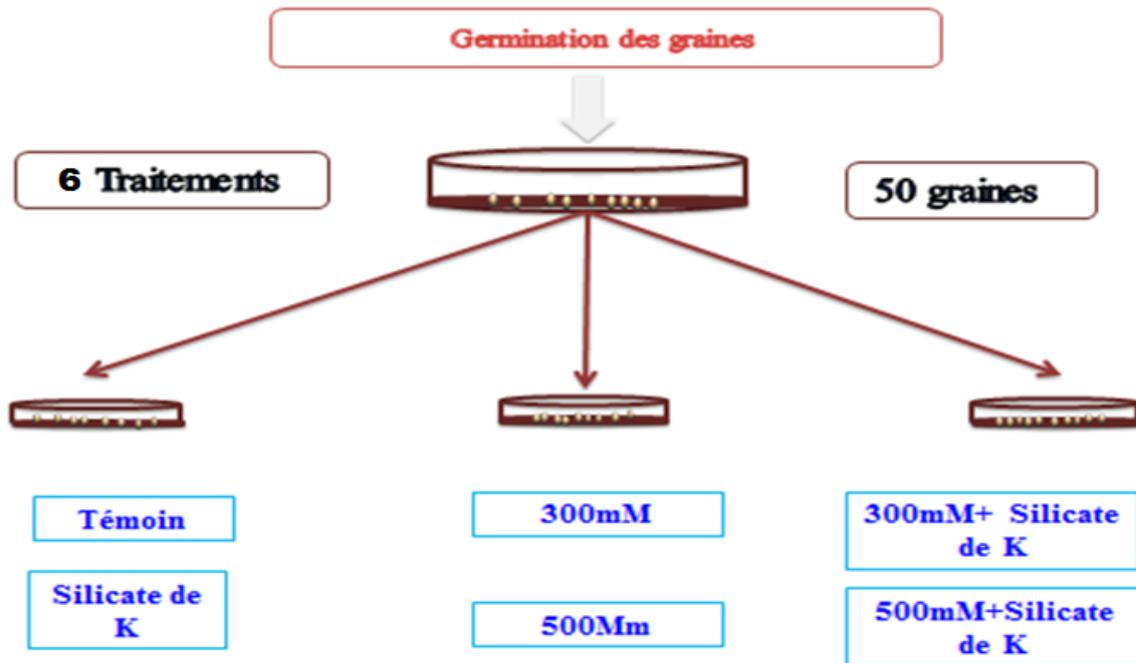


Figure (1): le dispositif expérimental utilisé au cours de la germination.

#### IV. Paramètres étudiés

##### 4.1. Le taux d'imbibition

L'imbibition des graines en germination est évaluée par des pesées effectuées chaque 12h et ce jusqu'à 72h. La prise d'eau par les graines est estimée par :

$$\text{Taux d'imbibition} = \left[ \frac{\text{Poids}(t) - \text{Poids}(i)}{\text{Poids}_i} \right] \times 100.$$

Où Poids(t) représente le poids déterminé à différents temps, et Poids(i) définit le poids initial des graines mises en germination.

##### 4.2. Le taux de germination des graines

La germination est définie par la percée des téguments de la graine par la radicule. Le taux de germination est déterminé par comptage des graines germées par rapport au nombre total des graines.

##### 4.3. Longueur de la radicule

La longueur de la radicule a été mesurée à l'aide d'une règle graduée après 72h de la mise en germination des graines.



#### 4.4. Dosage des sucres solubles

Les sucres simples ont été dosés par la méthode de Schields et Burnett (1960). Le principe de la réaction est basé sur la condensation des produits de dégradation des oses neutres par l'acide sulfurique. Ce dernier très concentré, transforme à chaud les oses en dérivés du furfural qui donnent une coloration bleu vert avec l'anthrone.

Cent milligrammes de graines (100mg) ont été introduits dans des tubes à essai contenant 5,25ml d'éthanol 80% pendant 24 heures. L'extrait obtenu a été dilué 10 fois avec l'éthanol 80%. De la solution obtenue, 2ml ont été prélevés, auxquels sont ajoutés 4ml de réactif composé de 2g d'anthrone pure + 1000ml d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Le réactif d'anthrone doit être préparé 4 heures avant la réalisation des essais. L'ensemble a été délicatement mélangé et maintenu dans la glace fondante. Après agitation, les tubes ont été placés au bain marie à 92° C pendant 8mn, puis refroidis pendant 30mn à l'obscurité. L'absorbance a été lue à une longueur d'onde  $\lambda = 585\text{nm}$  au spectrophotomètre après étalonnage de l'appareil par une solution contenant 2ml d'éthanol 80% + 4ml de réactif d'anthrone ; la teneur en sucres solubles des échantillons était exprimée en mg/g de MF en référence à une gamme étalon de glucose.

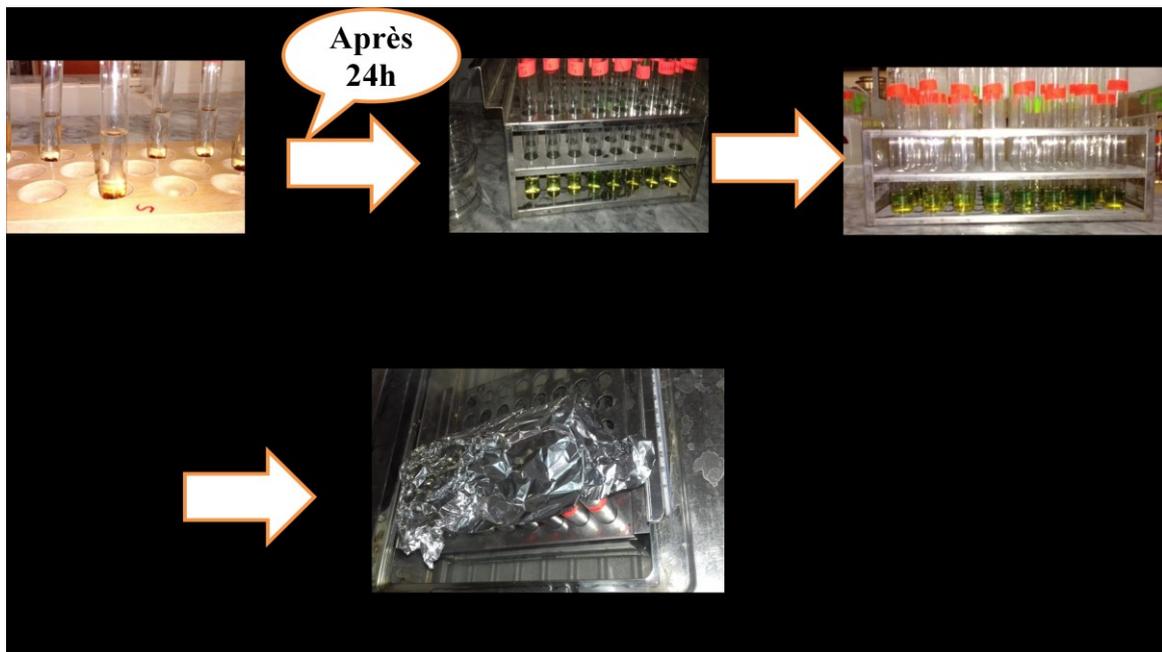


Figure (2): expérimentation de dosage des sucres.

#### 4.5. Dosage des protéines

Le dosage des protéines est effectué selon la technique de Bradford (1976).

L'extrait protéique est réalisé par broyage puis filtrage de 0,5g de graines dans 3,25ml de solution tampon d'extraction, contenant 56,5ul de B-Mercaptoéthanol, 2g de Sodium Dodécyl Sulfate (SDS). On complète le tout à 250 ml avec de l'eau distillée. La solution obtenue est

centrifugée à 5000 tours pendant 5min à 4°C, puis le surnageant est filtré à l'aide d'un papier filtre. L'extrait obtenu est conservé à 4°C. (Weber et *al.*, 1969).

À 1ml d'extrait de protéines sont ajoutés 2ml de réactif de bleu de Coomassie, préparé comme suit : 4mg de poudre de bleu de Coomassie G 250 sont dissous dans 2ml d'éthanol absolu, puis on ajoute 4ml d'acide orthophosphorique à 85%. Le mélange résultant est ajusté avec de l'eau distillée à un volume final de 40ml, puis filtré et conservé à froid (4°C).

Après stabilisation de la couleur pendant 5min, la densité optique du mélange est déterminée à 595 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

A partir d'une solution mère de Sérum albumine bovine (SBA) 1 mg/ml, on prépare une gamme étalon de 20, 40, 60, 80 et 100 µg ml<sup>-1</sup>.

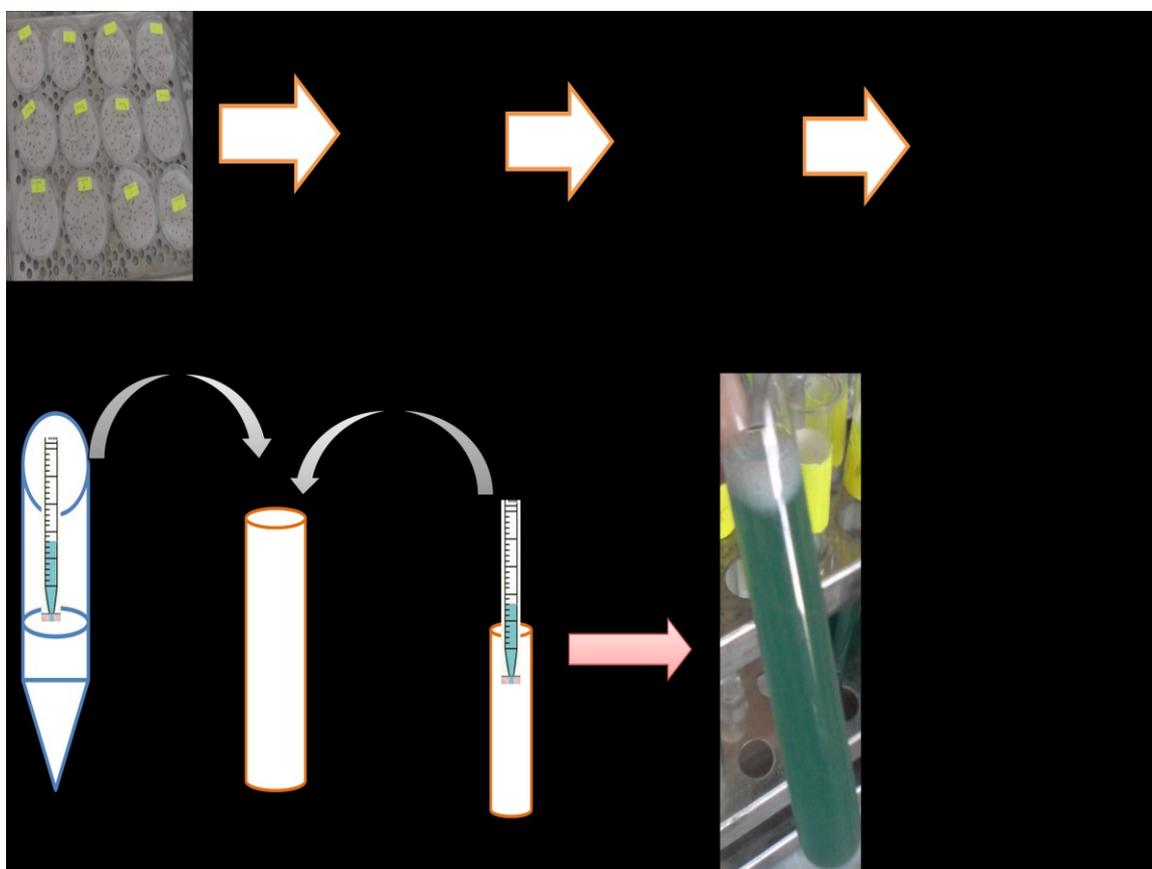


Figure (3): expérimentation de dosage de protéines.

#### 4.6. Dosage de l'amidon

##### Extraction de l'amidon total

La méthode utilisée est celle de Mc Cready et *al.* (1950). Le substrat de l'extraction est constitué de 0.5g de graines. L'ensemble est broyé dans 7,5ml d'éthanol 80% et laisser agir 5mn, puis centrifugé pendant 5min/4°C à 5000t/min. Le surnageant est éliminé et l'opération est répétée deux fois sur le culot. Eliminer le surnageant et peser les tubes d'ependorf

contenant le culot, ces tubes sont préalablement pesés. La différence des poids représente la quantité d'amidon.

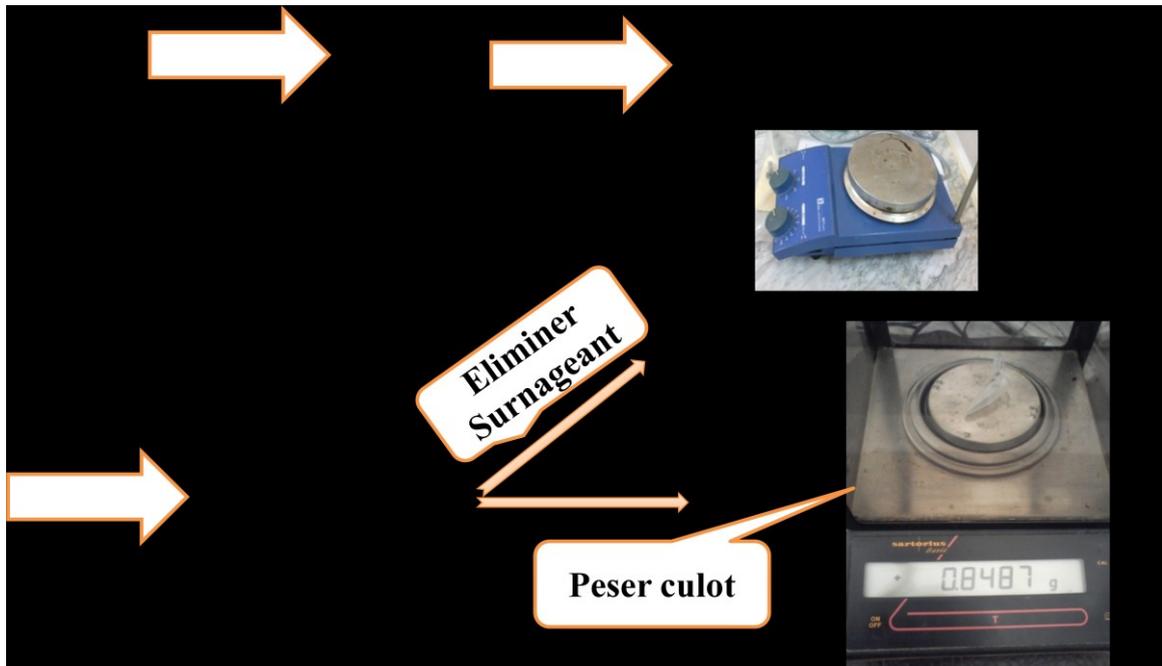


Figure (4): expérimentation de dosage de l'amidon.

## V. Analyses statistiques

Les données que comporte cette étude ont fait l'objet d'une analyse statistique (ANOVA) par SPSS Version 16.0.

# Résultats et discussion

### **III. Résultats et discussion**

#### **3.1. Résultats**

##### **3.1.1. Effet de la salinité et de silicate de potassium sur le taux de germination**

Le taux de germination des graines, exprimé en pourcentage du nombre total des germinations témoins, est présenté dans la figure 1. Il se démontre clairement que le NaCl provoque une importante diminution de la faculté germinative des graines dès les premières heures après le début de l'imbibition.

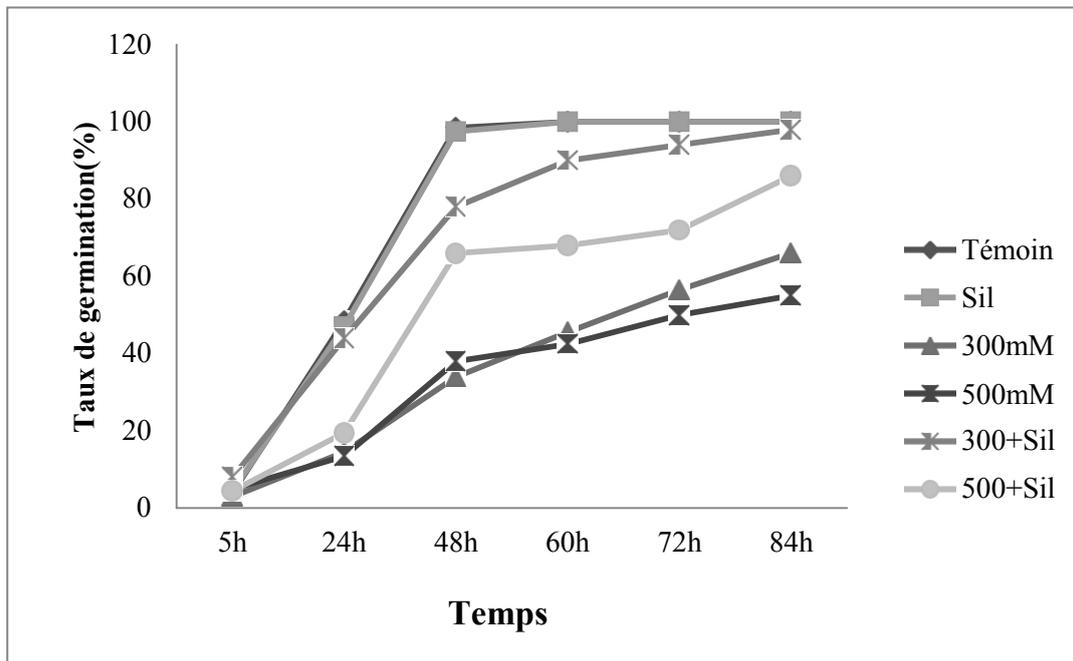
L'examen des données obtenues (Tableau 1) démontrent que le taux de germination graines est fortement influencé par composition des différents milieux de germination ( $p < 0,01$ ).

Les résultats moyens enregistrés, montrent que les graines ont manifesté des comportements distincts vis-à-vis de la composition du milieu de germination. En effet, Les résultats (figure 1) indiquent que les graines traitées par le silicate de potassium ont inscrit le taux germination le plus élevé, avoisinant le lot témoin. A l'opposé, l'application du NaCl a retardé la germination où les graines s'avèrent les plus affectées. Cette réduction est de l'ordre de 50 et 60% au niveau du traitement mené à 300 et 500mM de NaCl respectivement par rapport au témoin, à la fin de l'expérience.

En effet, en présence de la salinité dans le milieu, l'apport de silicate inhibe l'effet dépressur du sel et le pourcentage germination atteint 98 et 86% chez les graines traités à 300 et 600mM de NaCl, respectivement, à la fin de l'expérience.

**Tableau 01** : Effet de la composition du milieu sur les paramètres liés à la germination (les valeurs représentent, le test F, la probabilité P).

Paramètres	F	P
Taux de germination	40,71	0.000
Taux d'imbibition	3,962	0.000
Sucres solubles	15.549	0.002
Taux de protéines	1,491	0,318
Taux d'amidon	4,562	0,046
Longueur de la radicule	143.88	0.000



**Figure 01** : effet de la salinité et silicate de potassium sur le taux de germination

### 3.1.2. Effet de la salinité et de silicate de potassium sur le taux d'imbibition

L'analyse des résultats obtenus (Tableau 1), indique que les variations de la quantité d'eau absorbée par les graines est faiblement influencée par la composition des milieux de germination appliquée ( $p>0,01$ ). Mais à partir des 24 heures de la mise en germination, l'influence des milieux de germination est d'une importance notable ( $p<0,01$ ).

L'étude des résultats moyens démontre que les réductions de prise d'eau par les graines s'avèrent positivement corrélée à l'augmentation de la concentration du NaCl. Les résultats indiquent qu'à la fin de l'expérience, les réductions sont de l'ordre de 44% au niveau du traitement 500mM, par rapport au témoin. Dans le milieu mené à 300 les graines se montrent comme les plus affectées par la salinité car elles inscrivent les plus hautes valeurs de réduction du taux d'imbibition (Fig.2). Ainsi l'apport de silicate de potassium semble provoquer de notables variations dans le processus d'imbibition. Généralement l'application du silicate de potassium a eu un effet améliorant sur l'imbibition, essentiellement dans le traitement conduit à 300mM de NaCl. En effet cet apport a permis d'atténuer l'effet du NaCl à un niveau de progression de 55%.

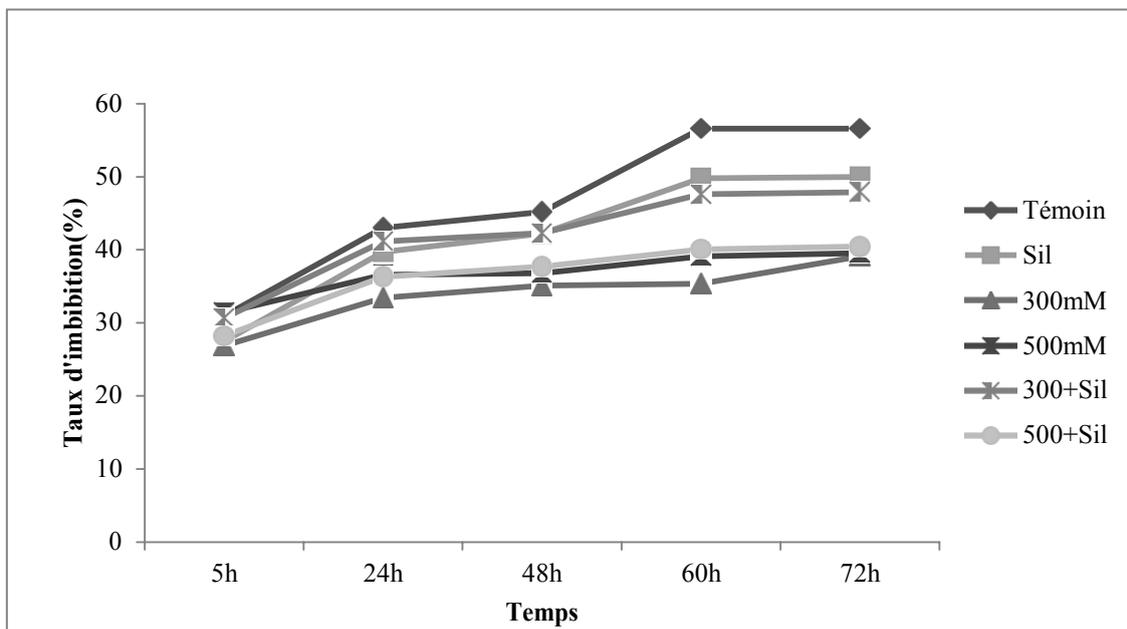


Figure 02 : effet de la salinité et silicate de potassium sur le taux d'imbibition

### **3.1.3. Effet de la salinité et de silicate de potassium sur le taux de sucres**

La teneur en sucre varie significativement en fonction des solutions appliquées ( $p < 0,01$ ).

Les résultats obtenus (Tableau 02) montrent que, l'application du NaCl à une concentration de 300mM, entraîne une augmentation significative de la teneur en sucres chez les graines. A cette dose, L'accroissement de cette teneur est avoisinant à celui du témoin. Cependant, l'application de 500mM de NaCl réduit l'accumulation des teneurs en sucres au niveau des graines.

L'application des silicates, en absence ou en présence du NaCl, permet une amélioration équivalente de la teneur en sucres. Cet effet est plus marqué en absence de la salinité, où un accroissement de la teneur en sucres de 50% par rapport aux graines conduits au lot témoin.

### **3.1.4. Effet de la salinité et de silicate de potassium sur le taux de protéines**

L'analyse des résultats dégagés (Tableau 1), démontre que l'expression de la teneur en protéines se réalise indifféremment de la composition du milieu de germination ( $p > 0,01$ ). Cependant, l'application des régimes salins provoque une nette augmentation de la teneur en protéine, à des degrés différents et ce quel que soit la concentration des sels. En effet, à l'application de forte teneur en NaCl (500mM), les plants s'avèrent plus affectés. Ils inscrivent par conséquent des valeurs très élevées.

Il faut toutefois signaler, qu'une application de silicate de potassium a favorisé une diminution régulière du taux des protéines des graines. Ainsi l'application de cet élément, permet une réduction de ce paramètre, à un niveau de 6% dans le lot conduit à 600mM et qu'il est encore plus important au niveau du lot conduit à 300mM (20%).

La sensibilité de ce paramètre suggère que le métabolisme des protéines a été modifié.

### **3.1.5. Effet de la salinité et de silicate de potassium sur le taux d'amidon**

L'examen des données obtenues (Tableau 1) indique que la teneur en amidon des graines testées varie faiblement à travers les différents traitements utilisés.

D'après les résultats (Tableau 2) on remarque que c'est au niveau des traitements menés au NaCl qu'il s'affiche les teneurs les plus élevées. Ainsi on note que les graines soumise en présence de silicate seul, se distinguent des autres traitements, en inscrivant les plus faibles valeurs avec 0,21mg. Néanmoins, l'apport de silicates, en présence de sel a favorisé la réduction des teneurs en amidon des graines, notamment à faible concentration (300mM), en inscrivant par conséquent des valeurs comparables à celle du témoin.

**Tableau 02** : résultats moyens des paramètres biochimiques

Traitements	Taux de sucres ( $\mu\text{g/gMF}$ )	Taux de protéines (mg/g MF)	Taux d'amidon (mg/g MF)
Témoin	0,240 $\pm$ 0,019	0,229 $\pm$ 0,015	0,253 $\pm$ 0,006
Sil	0,447 $\pm$ 0,033	0,210 $\pm$ 0,010	0,211 $\pm$ 0,004
300mM	0,233 $\pm$ 0,055	0,240 $\pm$ 0,004	0,563 $\pm$ 0,010
500mM	0,139 $\pm$ 0,021	0,251 $\pm$ 0,008	0,631 $\pm$ 0,018
300+Sil	0,257 $\pm$ 0,028	0,181 $\pm$ 0,047	0,269 $\pm$ 0,015
500+Sil	0,272 $\pm$ 0,044	0,215 $\pm$ 0,047	0,285 $\pm$ 0,019

### 3.1.6. Effet de la salinité et de silicate de potassium sur la longueur de la radicule

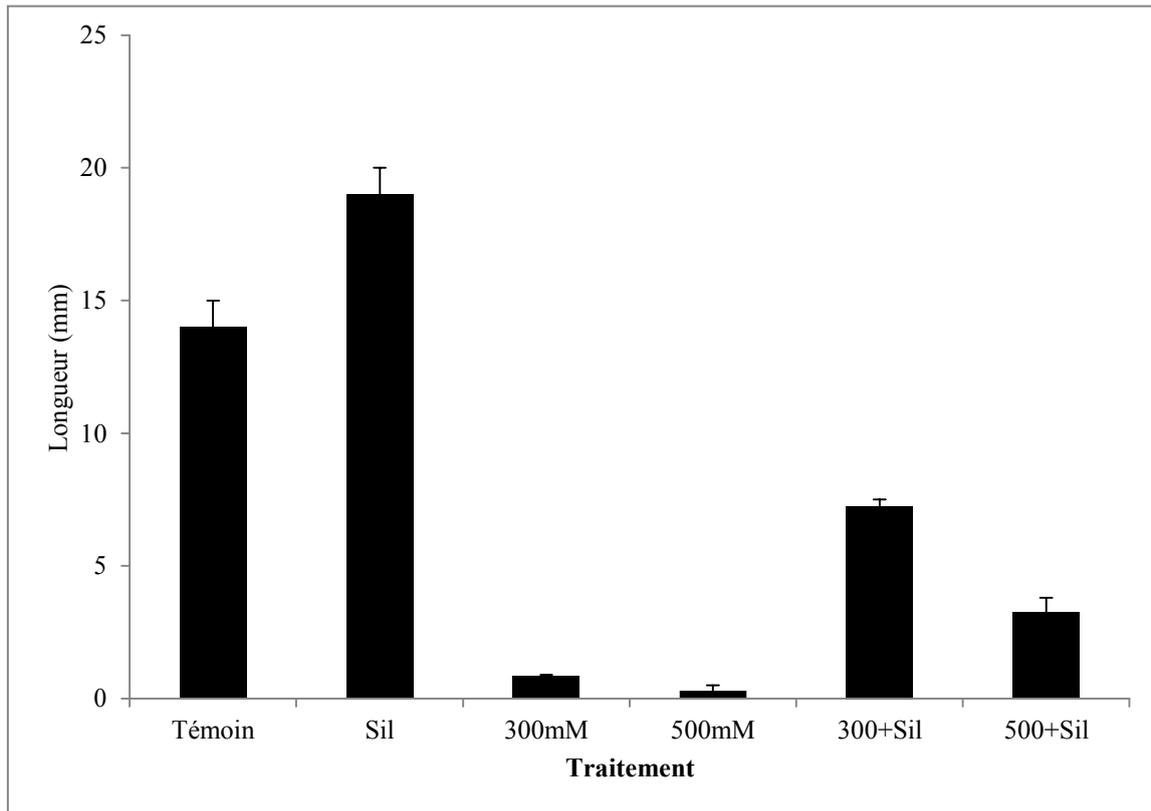
L'analyse de la variance (Tableau 1) indique que l'évolution de la longueur de la radicule, est fortement affectée par les différents milieux de germination appliqués.

Les résultats moyens obtenus (Tableau 2), montrent que dans le traitement conduit en absence de sel et de silicate, la longueur a enregistré des valeurs estimés à 22mm.

En absence de sel, l'apport de silicate provoque une évolution de ce paramètre, qui tend à une augmentation de la longueur où les graines s'individualisent par la plus longue radicule (24mm).

Contrairement aux constatations précédentes, les graines traitées au NaCl ont manifesté une diminution notable de la longueur. Cette régression est plus sévère chez les graines conduites à 500mM où on a remarquée l'arrêt totale de la croissance.

En effet, en présence de NaCl dans le milieu, l'apport exogène des silicates inhibe faiblement l'effet dépressur de la salinité sur la croissance de la radicule. Cet effet s'avère d'une acuité très marquée au niveau du traitement menée à 300mM où la longueur s'est estimée à 1,25mm.



**Figure 03** : effet de la salinité et silicate de potassium sur longueur de la racine

### 3.2. Discussion

La germination des plantes, qu'elles soient halophiles ou glycophiles, est affectée par la salinité. Selon les espèces, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique.

La germination est considérée comme une étape critique dans le cycle de développement de la plante. En effet, elle conditionne l'installation de la plantule, son branchement sur le milieu, et probablement sa productivité ultérieure (Gudrun et *al.*, 2019). En conséquence, la tolérance au sel au stade de germination en présence et en absence du silicate, a été évaluée dans cette étude. L'étude des effets de différentes concentrations de chlorure de sodium sur la germination des graines, a montré que lorsque la salinité augmente, le pourcentage de germination final diminue. Cette diminution pourrait être expliquée par une augmentation de la pression osmotique externe, ce qui pourrait affecter la vitesse d'absorption de l'eau par les graines. Kaya et *al.*, (2008) ont aussi noté que le temps moyen de germination a augmenté avec chaque augmentation de NaCl et ce retard de la germination s'expliquerait par le temps nécessaire aux graines pour déclencher les mécanismes leur permettant d'ajuster leur pression osmotique.

Les résultats montrent que l'apport de silicate de potassium dans le milieu salé, réduit considérablement les effets néfastes dus au NaCl et ceci se traduit par la restauration partielle de la germination inhibée par le sel. Salim et *al.*, 2013, montre que l'inhibition de l'effet dépresseur du sel est attribuée la sélectivité de l'absorption le transport des ions  $K^+$  et  $Na^+$ .

Le processus d'imbibition est une étape physiologique, primordiale pour la germination des graines des différentes espèces végétales (Johansson et *al.*, 2000).

Les résultats (Figure 2) montrent que les réductions de prise d'eau par les graines s'avèrent positivement corrélée à l'augmentation de la concentration du NaCl. Cette inhibition résulterait en particulier d'une difficulté d'hydratation des tissus, et de pénétration de la molécule d'eau ce qui ne favorise pas l'ajustement osmotique (Ouddach et *al.*, 2014).

En plus, le sel retarde également l'hydratation et ralentit la vitesse de germination. Ce retard pourrait être dû à l'altération des enzymes et des hormones qui se trouvent dans la graine (Botia et *al.*, 1998).

Cependant il est a marqué qu'un apport de silicates, améliore ce paramètre, notamment à faible concentration. Un tel résultat a été mentionné par de nombreux auteurs sur diverse cultures tels que le riz (Ma et *al.*, 2012).

L'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes en cas de stress, afin de résister aux contraintes du milieu.

L'application des silicates, en absence ou en présence du NaCl, permet une amélioration équivalente de la teneur en sucres. Cet effet est plus marqué en absence de la salinité. Ce résultat pourrait être expliqué par un ensemble de processus d'activités métaboliques qui se déclenchent pour hydrolyser des réserves nutritives destinées au développement de la plantule.

La mobilisation des réserves est une étape essentielle au cours de laquelle il y'a dégradation des réserves pour soutenir les premiers stades de croissance des plantules. La vitesse d'épuisement des réserves a été estimée indirectement par la mesure de la teneur en amidon et en protéines au niveau des graines. Chez les graines traitées par des solutions salines, la teneur en protéines des graines en germination est plus élevée en présence de chlorure de sodium que sur milieu témoin et celui mené au silicate. Cependant, l'apport des silicates aux solutions enrichies en NaCl a diminué significativement les teneurs en protéines. Les différents résultats obtenus nous ont permis de remarquer un effet positif du silicium en présence de la salinité. Un grand nombre d'études ont mis en évidence les effets positifs du silicium et son implication dans la tolérance aux stress hydriques, une meilleure résistance aux métaux toxiques et à la salinité en réduisant la translocation des ions  $\text{Na}^+$  (Das et *al.*, 2017).

Avec l'imbibition de la graine, s'instaure un métabolisme actif qui est révélé par une respiration intense et une synthèse de nouvelles protéines servant à la croissance de la jeune plantule tout en utilisant les réserves de la graine. Ce phénomène débute avec l'intervention d'enzymes dont l'action est déclenchée par des commandes hormonales venant en général de l'embryon.

Dans ce contexte, les résultats montrent que les plantes traitées avec du NaCl en présence de Si ont montré des teneurs en amidon plus faibles que les plantes traitées uniquement avec du NaCl. Selon (Romero-Aranda et *al.*, 2006), le Si permet aux plantes de tolérer la toxicité du sel en améliorant l'état hydrique de la plante et en réduisant l'effet osmotique de la salinité sur l'absorption et le stockage de l'eau.

Au cours de l'étude présentée (Figure 02), on a procédé par l'estimation de l'apparition de la racicule et l'évaluation de sa longueur. On constate que la variation des milieux de germination engendre des différences importantes dans l'apparition et le développement de la racicule. L'intensité de la salinité imposée a provoqué une réduction de la longueur de la racicule d'autant plus importante quand la salinité est plus élevée. Les mêmes résultats ont aussi été constatés par de nombreux auteurs (Daroui et *al.*, 2012), qui montrent que cette diminution

de la croissance est le résultat au niveau cellulaire d'un arrêt de gonflement cellulaires lors des stress abiotiques (stress salin et hydrique).

Généralement l'application des silicates a eu un effet améliorant sur l'élaboration de la longueur, essentiellement dans le traitement conduit à 300mM de NaCl. En effet l'application d'une telle dose a permis d'atténuer l'effet du NaCl. Nos résultats sont en concordance avec ceux de Khelil (2013) qui trouve que l'apport de silicate de sodium dans le milieu salé réduit considérablement les effets néfastes dus au stress salin et ceci se traduit par la restauration partielle de la croissance inhibée par le sel. Selon Gong et *al.*, (2006), la concentration de Na<sup>+</sup> toxique a été réduite en présence de Si et cette réduction s'est accompagnée d'une augmentation de l'allongement des racines.

*Conclusion*

## Conclusion

La germination des graines est un ensemble de processus métaboliques aboutissent à l'émergence de la radicule. Ce stade de développement est considéré comme une étape critique dans l'établissement des semis et dans la détermination d'une production agricole réussite.

Comme la majorité des halophytes, Il apparait que l'*Atriplex halimus* montre une grande sensibilité à la salinité au stade germination. En tenant compte de l'ensemble des paramètres de germination étudiés, ils se démontrent que le taux de germination et le taux d'imbibition sont sévèrement affectés par la salinité, notamment à forte concentration. Néanmoins, l'apport du silicate a fortement amélioré ces paramètres en présence de NaCl.

En situation saline, l'apport de silicate de potassium se traduit par un effet bénéfique sur la croissance racinaire, ceci étant associé à une augmentation de la teneur en sucres et une diminution du taux d'amidon.

Il est important de noter le rôle du Si dans l'inhibition de l'effet dépressur du NaCl sur les paramètres physiques de la germination est du principalement à l'effet osmotique des sels. De même, sa protection des tissus des graines sous stress salin, qui pourrait atténuer la toxicité du NaCl.

Ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives de recherches, dans le prolongement de la présente étude et l'investigation au niveau cellulaire, des mécanismes d'action du silicium pourraient être réalisé en étudiant les effets sur la plantes entière.

# *Références bibliographiques*

Références bibliographiques

- Al-Turki T.A., Omer S., Ghafoor A., 2000.** A synopsis of the genus *Atriplex*L. (*Chenopodiaceae*) in Saudi Arabia. *Feddes Repert.* 29: 111-261.
- Amtmann A. and Leigh R., 2010.** Ion homeostasis. Chap. 12. Dans *Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation*. Sous la direction de A. Pareek, S.K. Sopory, H.J. Bohnert et Govindjee. p. 245–262.
- Apse M.P. and Blumwald E. 2007.** Na<sup>+</sup> transport in plants. *FEBS Lett.* 581(12): 2247–2254.
- Baatour O., M'rah S., Ben Brahim N., Boulesnem F. and Lachaal M., 2004.** Réponse physiologique de la gesse (*Lathyrus sativus*) à la salinité du milieu. *Revue des Régions Arides*, 1 (N° Spécial) : 346-358.
- Bohnert H.J., and Jensen R.G., 1996.** Metabolic engineering for increased salt tolerance — the next step. *Aust. J. Plant Physiol.* 23 (5) : 661–667.
- Bonnier G. and Douin R., 1996.** La grande flore en couleur. In : *Atriplex In Vivo : Bulletin de Liaison du Réseau de Coopération sur l' Atriplex*, n°2, octobre 1996.
- Botia P., Carvajal M., Cerda A., Martinez V., 1998.** Response of eight Cucurbitaceae to salt stress during germination and early vegetative growth, *Agronomie* 18, 503 -513.
- Bouda S., Haddioui A., 2011.** Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex* *Nature & Technologie*, 5:72-79.
- Bradford M., 1976.** A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, *Anal. Biochem.* 72, pp. 248–254.
- Darouie B. and Kouddanen B., 2013.** Effet de la salinité sur la germination et la croissance *in vitro* du *Washingtonia filifera* L. *Nature & Technologie* 08 :32-38.
- Das K. K., Swamy G.S., Biswas D. and Chhaniya K. K., 2017.** Response of soil application of diatomaceous earth as a source of silicon on leaf nutrient status of guava. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 6(4): 1394 - 1399.

- Dutuit P., 1999.** Étude de la diversité biologique de l'*Atriplex halimus* pour le repérage in vitro et in vivo d'individus résistants à des conditions extrêmes du milieu et constitution de clones Summary reports of European Commission supported STD-3 projects (1992-1995), published by cta tropical and subtropical agriculture, thirdstd programme : 138-141.
- Epstein E. , 1999.** Silicon. Annu Rev. Plant Molecular Biology 50:641 -644.
- Exley C., 1998.** Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. *Journal of Inorganic Biochemistry.* 69: 139-144.
- Fauteux F., Rémus-Borel W., Menzies J.G., Bélanger R.R., 2005.** Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology letters.* 249: 1-6.
- Fawe A., Menzies J.G., Chérif M., Bélanger R.R., 2001.** Silicon and disease resistance in dicotyledons. In. Datnoff L.E., Snyder G.H., Korndörfer G.H., eds., *Silicon in agriculture*, Elsevier, Amsterdam. p. 159-169.
- Gong H. J., Chen K. M., Zhao Z. G., Chen G.C. and Zhou W.J., 2008.** Effects of silicon on non defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. *Biol Plant* 52:592–596.
- Gudrun K., Newton R., Vandeloos F., 2017.** Evolutionary ecology of fast seed germination A case study in Amaranthaceae/Chenopodiaceae. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics* 29 DOI: 10.1016/j.ppees.2017.09.007.
- Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K. and Bohnert H.J. 2000.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51(1) : 463–499.
- Johansson I., Karlsson M., Johansson U., Larsson C. and Kjellbom P., 2000.** The role of aquaporins in cellular and whole plant water balance. *Biochem Biophys Acta* , 1465: 324 -342.

- Kaya M., Ka ya G., Ka ya M.D., Atak M., S aglam S., Khaw ar K. M., Ciftci C. Y., 200 8.** Interaction between seed size and NaCl on germination and early seedling growth of some Turkish cultivars of chickpea (*Cicerari etinum L.*). *Journal of Zhejiang University Science B*, 9(5): pp 371-377.
- Khelil A., 2013.** Effets du Silicium sur la réponse de la Tomate à la contrainte saline. 2ème Workshop sur l’agriculture saharienne ‘‘Situation actuelle et contraintes.
- Le Houerou H.N., 2000.** Utilization of Fodder Trees and Shrubs in the Arid and Semiarid Zones of West Asia and North Africa. *Arid Soil Res. Rehabil.* 14, 101–135.
- Levit J. 1980.** *Responses of Plants to Environmental Stresses* (Vol. II). Academic Press: New York.
- 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 J. F., Ni shi mu ra K. and Tak ahas hi E., 2012 .** Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. *Soil Science and Plant Nutrition*, 35:3, 347-356
- Ma J.F. and Takahashi E., 2002.** *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan*, Elsevier, Amsterdam. pp 281.
- Ma J.F. and Yamaji N., 2008.** Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and Molecular Life Science*. 65:3049-3057
- MC Cready R.M., Guggolz J., Silviera V. and Owens H.S., 1950.** Determination of starch and amylase in vegetables. Application to peas. *Anal. Chem.*, pp.1156-1158.
- Mozafar A., Goodin J.R., 1970.** Vesiculated Hairs: A Mechanism for Salt Tolerance in *Atriplex halimus*L. *Plant Physiol.* 45, 62–65.
- Munns R., 2005.** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.* 167(3) 645–663.
- Munns R. and Tester M., 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59(1) : 651–681

- Nedjimi B., 2012.** *Atriplex halimus* subsp. *Schweinfurthii* (Chenopodiaceae): A native species in salt steppes of Algeria – A Review. In: LluviaMarín and DimosKovač (Eds.) Native Species: Identification, Conservation and Restoration. Nova Science Publishers, Inc. New York: 155-168.
- Niu X., Bressan R.A., Hasegawa P.M. and Pardo J.M., 1995.** Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiol.* 109(3) : 735–742.
- Ouhaddach M. , Mo uhssine F., Hmouni D., 2014.** Effet du Chlorure de Sodium (NaCl) sur les Paramètres de Germination du blé Tendre (*Triticumaestivum* L.). *European Journal of Scientific Research* Vol. 127, 2014, pp.298-310
- Raven J.A., 2001.** Silicon transport at the cell and tissue level. In. Datnoff L.E., Snyder G.H., Korndörfer G.H., eds., *Silicon in agriculture*, Elsevier, Amsterdam. p. 41-56.
- Reguieg Yssaad H.A., Latigui A., Nouri T. and Bessafi L., 2012.** Effect of Salt Stress and Bentonite on the Germination and Proline Content of *Vicia faba* L. Plant var. 'Semilla violeta' and 'Reine mora'. 7 (5): 212-219.
- Rice R.W., 2007.** The Physiological Role of Minerals in the Plant. In. Datnoff L.E., Elmer W.H., Huber D.M., eds., *Mineral Nutrition and Plant disease*, St Paul, MN: APS Press. p. 9-29.
- Richmond K.E.,and Sussman M., 2003.** Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. *Current Opinion in Plant Biology*.6: 268-272.
- Romero -Aranda MR, Jurado O, Cuartero J., 2006.** Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology* ,163, 847-55.
- Sairam R.K. and Tyagi A., 2004.** Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Curr. Sci.* 86 : 407–421.
- Salim A., Rahman M., Shamin Md. H., Abdul Matin Md., 2013.** Effect of different pre sowing treatments on seed germination percentage and growth performance of *Acacia auriculiiformis*. *Journal of Forestry Research* 22(2): 183–188

- Sangster A.G., Hodson M.J., Tubb H.J., 2001.** Silicon deposition in higher plants. In: Datnoff L.E., Snyder G.H., Korndörfer G.H., eds., Silicon in agriculture, Elsevier, Amsterdam. p. 85-116.
- Schiels R. and Burnett W., 1960.** Determination of protein-bound carbohydrate in serum by a modified anthrone method. *Anal. Chem.* **32**: 885-886.
- Shabala S. and Cuin T.A., 2007.** Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiol. Plant.* **133**(4) : 651-669.
- Sharma P.P., Vidaillet H., Dietz J., 2003.** Patient with Sotos syndrome, Wolff-Parkinson-White pattern on electrocardiogram, and two right-sided accessory bypass tracts. *Am J Med Genet.* **116**: 372-375.
- Talamali A., Dutuit P., Le Thomas A., Gorenflot R., 2001.** Polygamy in *Atriplex halimus* L. (Chenopodiaceae). *C. R. Acad. Sci. III.* **324**, 107-113.
- Tréguer P., Nelson D.M., Van Bennekom A.J., DeMaster D.J., Leynaert A., Quéguiner B., 1995.** The silica balance in the world ocean: a reestimate. *Science.* **268**: 375-379.
- Walker D.J., Lutts S., Sánchez-García M., Correal E., 2014.** *Atriplex halimus* L.: Its biology and uses. *J. Arid Environ.* **147**, 441-448.
- Yamaguchi T., Aharon G.S., Sottosanto J.B. and Blumwald E., 2005.** Vacuolar Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiporter cation selectivity is regulated by calmodulin from within the vacuole in a Ca<sup>2+</sup> and pH-dependent manner. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **102**(44) : 16107-16112.
- Zervoudakis G., Angelopoulos K., Salahas G., Georgiou C.D., 1998.** Differences in Cold Inactivation of Phosphoenolpyruvate Carboxylase among C4 Species: The Effect of pH and of Enzyme Concentration. *Photosynthetica* **35**, 169-175.