

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 :

RAHMANE Khadidja

SENOUCI Soumia

MOUSSA Nacira

*Thème*

Effet du silicate de potassium sur la germination  
des graines de la tomate cerise stressée à la salinité  
(*Solanum lycopersicum var. cesariforme*)

Soutenu publiquement le .....

Jury:		Grade
Président:	Melle SOUALMI N.	M.A.A.
Encadrant:	Mme SOUALEM S.	M.C.A
Co-encadrant:	Mr BOUBEKEUR M.	M.A.A
Examineur:	Mr BOUFARES K.	M.C.B

Année universitaire 2020-2021

## Dédicaces

*Je dédie ce travail à :*

*Mes parents les plus chers du monde qui ont été les premiers pour leur soutien et encouragements dans les moments les plus difficiles. Je vous dédie ce travail car je sais que vous êtes fiers de moi.*

*.....A mes chers frères :Rahimo, Younes, Kadi ,Soheib*

*.....A mes très chères amies: Alya, Ahlem, Fatima, Kaltoum, Karima*

*.... A toute ma famille*

*.....Pour mes proches, sans exception*

*...A Naciraet Khadidja qui ont participé à la réalisation de ce travail ainsi qu'à leurs familles*

*..... A toute la promotion de la Génétique moléculaire et Amélioration de plantes.*

*Senouci Somia*



## Dédicaces

*Je dédie ce travail à :*

*Mes parents les plus chers du monde qui ont été les premiers pour leur soutien et encouragements dans les moments les plus difficiles. Je vous dédie ce travail car je sais que vous êtes fiers de moi.*

*.....A mon cher mari : Ibrahim*

*.....A mes chers frères : Ibrahim, Mohamed, Omar*

*.....A mes très chères sœurs: Mamiya, Sabrin*

*.... A toute ma famille*

*.....Pour mes proches, sans exception*

*....A Somia et Khadidja qui ont participé à la réalisation de ce travail ainsi qu'à leurs familles*

*..... A toute la promotion de la Génétique moléculaire et Amélioration de plantes.*

*Moussa Nacira*



## Dédicaces

*Je dédie ce travail à :*

*Mes parents les plus chers du monde qui ont été les premiers pour leur soutien et encouragements dans les moments les plus difficiles. Je vous dédie ce travail car je sais que vous êtes fiers de moi.*

*.....A mon cher mari : Tarek*

*...A ma petite fille : Lea*

*.....A mes chers frères : Abderrahmane, Sofiane, Zakaria*

*.....A mes chères sœurs: Amona, Hadjer, Sara*

*.....Pour mes proches, sans exception*

*...A Nacira et Somia qui ont participé à la réalisation de ce travail ainsi qu'à leurs familles*

*..... A toute la promotion de la Génétique moléculaire et Amélioration de plantes.*

*Rahmane*



*Khadidja*

## **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, sa présence, ainsi que son soutien scientifique nous ont permis de mener à terminer ce travail. Bien-sûr, nous remercions aussi notre co-encadreur Mr Boubkeur Med Abdelaziz pour ses efforts durant notre travail scientifique.*

*Je remercie vivement les membres du jury : **Melle SOUALMI Nadia** et **Mr BOUFARES Khaled** qui nous ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer notre travail.*

*Aux personnels du laboratoire de la faculté SNV en particulier, les ingénieurs du laboratoire qui m'ont beaucoup aidé à réaliser ce travail dans de bonnes conditions.*

*Enfin, à tous les enseignants de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret, veuillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements pour la qualité de votre enseignement.*

*Je remercie aussi tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation*

## \*Table des matières\*

Introduction.....	1
<b>I. Synthèse bibliographique.....</b>	<b>3</b>
<b>Chapitre I. Tomate.....</b>	<b>3</b>
I.1. Historique et l'origine.....	3
I.2. Description botanique.....	3
I.3. Classification.....	3
I.3.1. Classification botanique.....	3
I.3.2. Classification génétique.....	4
I.4. Types de croissance végétative.....	4
I.4.1. Variétés à croissance déterminé.....	5
I.4.2. Variétés à croissance indéterminé.....	5
I.5. Caractéristiques morphologiques de tomate.....	5
I.5.1. Appareil végétatif.....	5
I.5.1.1. Système racinaire.....	5
I.5.1.2. Tige.....	6
I.5.1.3. Feuille.....	6
I.5.2. Appareil reproducteur.....	6
I.5.2.1. Fleur.....	6
I.5.2.2. Fruit.....	7
I.6. Tomate cerise.....	7
I.7. Importance de la tomate.....	8
I.7.1. Importance économique.....	8
I.7.2. Importance nutritionnelle.....	9
I.7.3. Importance médicinale.....	9
<b>Chapitre II. Salinité.....</b>	<b>10</b>
II.1. Définition.....	10
II.2. Origine de la salinité.....	10
II.2.1. Salinité primaire.....	11
II.2.2. Salinité secondaire.....	11
<b>Chapitre III. Stress salin et Plante.....</b>	<b>12</b>
III.1. Définition de stress.....	12
III.2. Types de stress.....	12

III.2.1. Stress Biotique.....	12
III.2.2. Stress Abiotique.....	12
• Stress salin.....	12
• Stress hydrique.....	13
• Stress ionique.....	13
• Stress nutritionnel.....	13
III.3. Effet de la salinité sur la physiologie des plantes.....	14
III.3.1. Effet de la salinité sur la germination.....	14
III.3.2. Effet de la salinité sur la croissance et développement.....	14
III.3.3. Effet de la salinité sur l'absorption.....	15
III.3.4. Effet de la salinité sur la photosynthèse.....	15
<b>Chapitre IV. Mécanismes d'adaptation au stress salin.....</b>	<b>16</b>
IV.1. Adaptation Morphologique.....	16
IV.2. Adaptation Physiologique.....	16
IV.2.1. Exclusion.....	16
IV.2.2. Inclusion.....	16
IV.2.3. Compartimentation vacuolaire.....	17
IV.3. Adaptation Métabolique.....	17
IV.3.1. Accumulation des solutés organiques.....	17
• Proline.....	17
• Sucres.....	18
<b>Chapitre V : Effet de silicate de potassium sur les plantes.....</b>	<b>19</b>
V.1. Silicium.....	19
V.2. Silicium dans la plantes.....	19
V.2.1. Prélèvement et teneur du silicium dans les plantes.....	19
V.2.2. Absorption Transport et accumulation du silicium dans la plante.....	20
V.3. Effets du silicium sur la plante.....	20
V.3.1. Effets du silicium sur la croissance.....	20
V.3.2. Effets de silicium sur les plantes stressées à la salinité.....	20
<b>Partie Expérimental</b>	
<b>Chapitre I: Matériels et méthodes</b>	
I.1. Objectif de l'expérimentation.....	22
I.2. Matériel végétal.....	22

I.3. Conditions d'expérimentation et conduite de l'essai.....	22
I.3.1. Conduite de l'essai.....	22
I.3.2. Conditions de mise en germination des graines.....	22
I.6. Protocol Expérimental.....	23
I.5. Paramètres mesurés.....	24
I.4.1. Le taux d'imbibition.....	24
I.4.2. Le taux de germination des graines.....	24
I.4.3. Longueur de la radicule.....	24
I.4.4. Longueur de la tigelle.....	24
I.6. Analyse statistique.....	24
<b>Chapitre II: Résultats et discussion</b>	
<b>I. Résultats.....</b>	<b>25</b>
I.1. Effet de la salinité et le Si sur le taux de germination.....	25
I.2. Effet de la salinité et le Si sur l'imbibition.....	26
I.3. Effet de la salinité et le Si sur la longueur de la radicule.....	26
I.4. Effet de la salinité et le Si sur la longueur de la tigelle.....	27
<b>II. Discussion.....</b>	<b>29</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>32</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>33</b>



## **\*Liste des abréviations\***

**%** : pourcentage

**C°**: degré Celsius

**Cl<sup>-</sup>** : chlore

**cm** : centimètre

**Control** : témoin

**Fig**: figure

**g** : gramme (poids)

**h** : heure

**H<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>**:acide mono silicique

**ha** : hectares

**meq** :

**ml** : millilitre

**mM**: millimole

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

**Nacl** : chlorure de sodium

**P** : probabilité

**Si /Sil**: silicium, silicate de potassium

**Tab** : tableau

## **\*Liste des figures\***

**Figure 1** : Schéma de croissance de la tomate.

**Figure 2** : Système racinaire.

**Figure 3** : Tige de tomate.

**Figure 4** : Représentation schématique de l'architecture aérienne de la tomate cerise.

**Figure 5** : Les principaux pays producteurs de tomate dans le monde (1997-2007).

**Figure 6** : Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes de type *include* ou *exclude*.

**Figure 7** : Dispositif expérimental, la mise en germination des graines après 24h.

**Figure 8** : Germination des graines après 120h.

**Figure 9** : Effet de la salinité et le Si sur le taux de germination.

**Figure 10** : Effet de la salinité et le Si sur le taux d'imbibition.

**Figure 11** : Effet de la salinité et le Si sur la longueur de la racicule.

**Figure 12** : Effet de la salinité et le Si sur la longueur de la tigelle

## **\*Liste des tableaux\***

**Tableau 1** : Classification botanique de la tomate

**Tableau 2**: Superficie affectée par la salinité dans le monde

**Tableau 3** : Effet de la composition du milieu sur les paramètres liées à la germination (les valeurs représentent, le test F, la probabilité P).

# *Introduction*

## Introduction

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est une plante annuelle, Originaire du nord-ouest de l'Amérique du Sud, elle est largement cultivée dans le monde et très consommée pour son fruit qui est très riche en minéraux, en vitamines, en acides aminés essentiels, en sucre ainsi qu'en fibres alimentaires. Vue son importance nutritionnelle et industrielle, la tomate est devenue un des légumes les plus importants du monde ; la production mondiale de tomate en 2001 était environ 105 millions de tonne de fruits frais sur une superficie évaluée à 3.9 millions d'hectares. (Shankara *et al.*, 2005).

La tomate est cultivée dans des pays à climat sec et chaud où les sols salés couvrent de grandes surfaces, ce qui pose le problème de son adaptation à la salinité pour son extension dans les surfaces cultivées.

Dans les régions à climat méditerranéen, le problème de la salinité est accentué par la présence de concentrations élevées en chlorure de sodium dans les eaux d'irrigation. La salinisation des sols constitue alors l'un des facteurs majeurs de la baisse de la productivité agricole dans le monde. Selon la FAO (2008), plus de 800 millions d'hectares de terres à travers le monde sont affectés par la salinité, ce qui représente plus de 6% de la surface du globe. Les sels présents dans les sols et dans les eaux d'irrigation, perturbent la germination des graines, et cause des répercussions importantes sur la physiologie de la germination des plantes, car les conditions de salinité limitent la disponibilité de l'eau et donc la germination (Rundel, 1996). En outre, la salinité est une contrainte majeure limitant la production végétale dans le monde entier, elle affecte aussi négativement la germination des graines et diminue ou même inhibe complètement l'émergence des plantules en raison de la baisse du potentiel hydrique, qui se traduit par la baisse de l'absorption de l'eau (Farooq *et al.*, 2009).

La tomate, l'une des espèces les plus cultivées au monde, est sensible à des concentrations modérées de sels dans le sol. Mais plusieurs auteurs révèlent une grande variabilité parmi les génotypes de tomate dans leur réponse à la salinité (Cuartero et Fernandez-Munez, 1999 ; Manaa *et al.*, 2011).

L'amélioration de la tolérance à la salinité serait d'une grande valeur pour une culture modérément sensible comme la tomate, quand elle est cultivée sur des sols qui ont 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 efficiente de l'eau et des éléments minéraux alors que son accumulation

au niveau des épidermes donne une rigidité et soutien aux cultures, ce qui les protège contre les stress (Hodson *et al.*, 2005). A l'heure actuelle, on dispose de peu de connaissances précises sur l'impact du silicium sur la tolérance des plantes à la salinité (Lahav, 1995).

C'est dans ce contexte que se situe la question fondamentale de ce travail, à savoir si un traitement en silicium permet d'augmenter la tolérance de la tomate à la salinité. Pour répondre à cette question, un essai a été installé afin d'évaluer le degré de sensibilité ou tolérance au niveau de la germination d'abord, et ensuite au niveau du stade végétatif des plantules, chez la variété de « *Lycopersicon esculentum var. cesariforme* » soumises à un effet de silicate de potassium sous stress salin, en déterminant l'effet de NaCl et le Silicium sur les paramètres de germination, puis sur les paramètres de croissance au stade post germination.

La présente étude comporte trois. Dans une première est inscrite une synthèse bibliographique où est exposé l'essentiel des travaux réalisés dans ce domaine. Dans une seconde sont présentées les différentes démarches expérimentales employées et enfin, on rapportés les principaux résultats auxquels nous sommes obtenus.

# *Synthèse bibliographique*

*Chapitre I*  
*La tomate*  
*(Solanum lycopersicum L.)*



## Chapitre I : La tomate

### I.1. Historique et l'origine

La tomate du genre *Lycopersicum esculentum* L est une plante cultivée dans le monde entier pour son fruit. Elle est originaire des régions Andines côtières du Nord-Ouest de l'Amérique du Sud, dans une zone allant du Sud de la Colombie au Nord du Chili et de la côte Pacifique, aux contreforts des Andes (Equateur, Pérou). C'est en effet seulement dans ces régions, qu'on a retrouvées des plantes spontanées de diverses espèces, de l'ancien genre *Lycopersicum*, notamment *Solanum lycopersicum cesariforme* (la tomate cerise). Cette dernière est actuellement répandue dans toutes les régions tropicales du globe, mais il s'agit d'introduction récente (Causse *et al.*, 2000).

La tomate, avant d'être ramenée en Europe par les conquistadores. Neuf espèces sauvages peuvent être observées en Amérique du sud, dont seulement deux comestibles, la « tomate groseille » (*Solanum pimpinellifolium*) et la « tomate cerise » (*Solanum lycopersicum* var *cesariforme*) qui est l'ancêtre de nos tomates actuelles (De Broglie et Guérault, 2005 ; Renaud, 2006).

L'apparition de la tomate en Afrique du Nord a lieu au XVIIIème siècle au Maroc d'abord puis en Algérie et en Tunisie. On suppose que l'origine de son introduction est due aux morisques chassés d'Espagne lors de la Reconquista (Boumendjel *et al.*, 2001).

### I.2. Description botanique :

La tomate appartient au genre *Lycopersicon* de la famille des Solanacées. Ce genre comprend neuf espèces (Causse *et al.*, 2000). est une plante herbacée annuelle (Chaux et Foury, 1994). En 1753, Linné donna à la tomate le nom scientifique « *Solanum lycopersicum* » c'est-à-dire « pêche de loup » (de *lucos* : loup, et *persica* : pêche). Miller Gardner affina la classification de Linné, et donna à la tomate le nom latin « *Lycopersicon esculentum* » (Danneyrolles, 1999).

### I.3. Classification

#### I.3.1. Classification botanique :

Le tableau suivant représente la classification botanique de la tomate :

**Tableau 1** : Classification botanique de la tomate (Guignard, 2000).

Règne	Plantae.
Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Angiospermes.
Classe	Dicotylédones
Sous classe	Gamopétales
Ordre	Polémoniales
Sous ordre	Solanales
Famille	Solanacées
Genre	Lycopersicum
Espèce	Lycopersicum esculentum Mill.

### I.3.2. Classification génétique

La tomate cultivée est une espèce diploïde avec  $2n=24$  chromosomes, chez laquelle il existe de très nombreux mutants monogéniques dont certains sont très importants pour la sélection. C'est une plante autogame mais on peut avoir une proportion de fécondation croisée par laquelle la plante peut se comporter comme plante allogame (Gallais et Bannerot, 1992)

Selon le mode de fécondation, on distingue deux types de variétés de tomate:

- **Variétés fixées**

Elles se caractérisent par l'homozygotie, c'est-à-dire qu'elles conservent les caractères parentaux. Il existe plus de cinq cent variétés. Leurs fruits sont plus ou moins réguliers, sont sensibles aux maladies, mais donnent en général des fruits d'excellente qualité gustative (Polese, 2007).

Les variétés les plus utilisées en Algérie sont la Marmande et la Saint Pierre (Gould, 1991 ; Yamagushi, 1983).

- **Variétés hybrides**

Les variétés hybrides sont plus nombreuses. Elles sont relativement récentes, puisqu'elles n'existent que depuis 1960 (Polese, 2007).

Elles se caractérisent par un effet hétérosis qui permet un cumul de gènes favorables, de résistance aux maladies, une meilleure nouaison, particulièrement en conditions défavorables (Chaux et Fourry, 1994).

## I.4. Types de variétés selon la croissance végétative

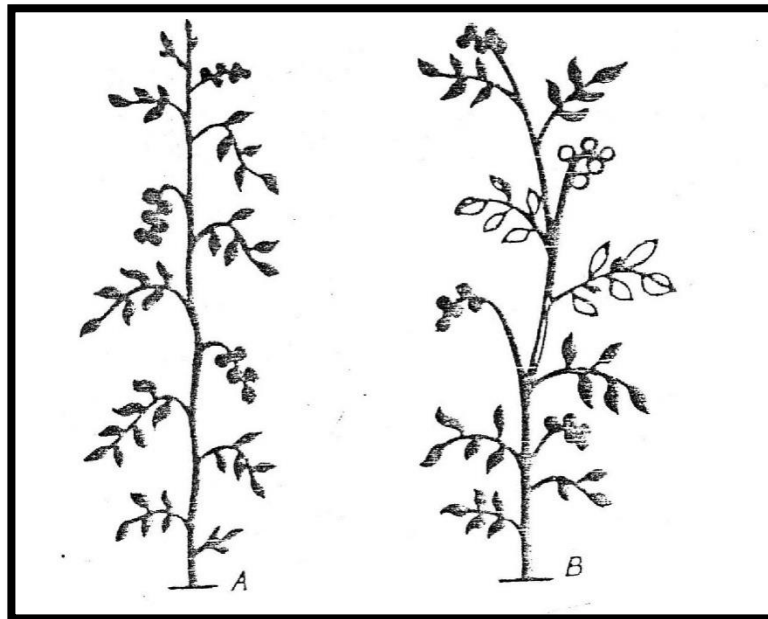
### I.4.1. Variétés à croissance déterminé

Dans ce groupe et selon la variété, la tige émet 2 à 6 bouquets floraux, puis la croissance s'arrête naturellement (Fig. 1B). Elle est caractérisée par l'absence de la dominance apicale. Ce type de variété est destiné à l'industrie agro-alimentaire sous le nom de variété industrielle (Laumonier, 1979).

#### I.4.2. Variétés à croissance indéterminé

La plante ne cesse pas de croître en hauteur jusqu'à épuisement de toutes les réserves (l'ITCMI, 1995).

Les variétés à croissance indéterminée présentent un nombre indéfini d'inflorescences sur la tige principale comme les tiges latérales (Fig. 1A). Cette croissance peut cependant être interrompue par des facteurs extérieurs comme le gel ou régulée en taillant les plantes (Abdeslam, 2012). Elles ont une production plus étalée et sont plus productives en général que les tomates à port déterminé (Naika *et al.*, 2005).



**Figure 1** : Schéma de croissance de la tomate (CHAUX, 1971).

A : Croissance indéterminée    B : Croissance déterminée

### I.5. Caractéristiques morphologiques de tomate

#### I.5.1. Appareil végétatif :

##### I.5.1.1. Système racinaire

Le système racinaire (Fig. 2) est très développé et pivotant avec de nombreuses racines. La plus part des racines se situe à une profondeur de 30 à 40 cm. En sol profond des racines peuvent être retrouvées jusqu'à un mètre (Chaux, 1994 ; Blamey *et al.*, 2007).



**Figure 2 :** Système racinaire (Chaux & Foury, 1994).

### **I.5.1.2. Tige**

La tige (Fig. 3) est pleine et anguleuse, pousse jusqu'à une longueur de 2 m (Shankara, 2005).



**Figure 3 :** Tige de tomate (Originales, 2013).

### **I.5.1.3. Feuille**

Les feuilles sont simples, composées, alternées, sans stipule, mesurant entre 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large, le pétiole mesure de 3 à 6 cm (Shankara *et al.*, 2005).

## **I.5.2. Appareil reproducteur**

### **I.5.2.1. Fleur**

Les fleurs sont hermaphrodites (Les organes et femelles sont dans la même fleur), en grappe et généralement de couleur jaune. Les pétales sont en partie soudés pour former une corolle étoilée. Les sépales sont verts. Les étamines sont jointes pour former un tube staminique

et le pistil est caché dans ce tube (Chaux, 1994 ; Blamey *et al.*, 2007). Le gynécée possède entre 2 et 5 carpelles (Abbayes *et al.*, 1963).

### **I.5.2.2. Fruit**

Les fruits sont de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés (Shankara *et al.*, 2005). Un fruit charnu renferme des graines appelées pépins, ces pépins sont entourés d'une sorte de mucilage provenant de l'enveloppe de la graine (Polese, 2007).

### **I.6. Tomate cerise**

Chez la tomate cerise (*Solanum lycopersicum* var. *cesariforme*), le nombre de feuilles composées varie d'une unité sympodiale à une autre (Fig. 4A). La première unité sympodiale comporte jusqu'à 13 feuilles composées. Les unités sympodiales suivantes sont composées de 2 à 3 feuilles. Chaque feuille composée est attachée à la tige principale par un pétiole et est composée d'un rachis avec une foliole terminale (numéroté 1) et 6 autres folioles (folioles latérales) positionnées par paires sur la gauche et la droite du rachis respectivement (Fig. 4B). Les folioles sont attachées au rachis par un pétiolule (Fig. 4B). Les inter-folioles sont plus petites que les folioles principales et sont situés entre les paires successives de folioles (attachées au rachis), tandis que les intra-folioles, de petite taille sont attachées aux pétiolules des folioles. Les fleurs sont regroupées en inflorescences (Fig. 4A). Chez la tomate cerise, le méristème de l'inflorescence apparaît sous la forme d'une inflorescence monochasiale, ce qui signifie que le bourgeon terminal va arrêter sa croissance et fleurir. C'est une cyme de type scorpioïde unipare de six à dix fleurs. La fleur est constituée de cinq sépales qui s'alternent avec cinq pétales, cinq étamines soudées formant un cône autour du pistil (c'est-à-dire l'ovaire, le style et le stigmate). L'ovaire est formé de deux carpelles (parfois plus). Le fruit de la tomate est une baie (fruit à péricarpe entièrement charnu, contenant des graines appelées pépins). La pulpe charnue est divisée en loges contenant les graines dans un mucilage (Koch, 2019).

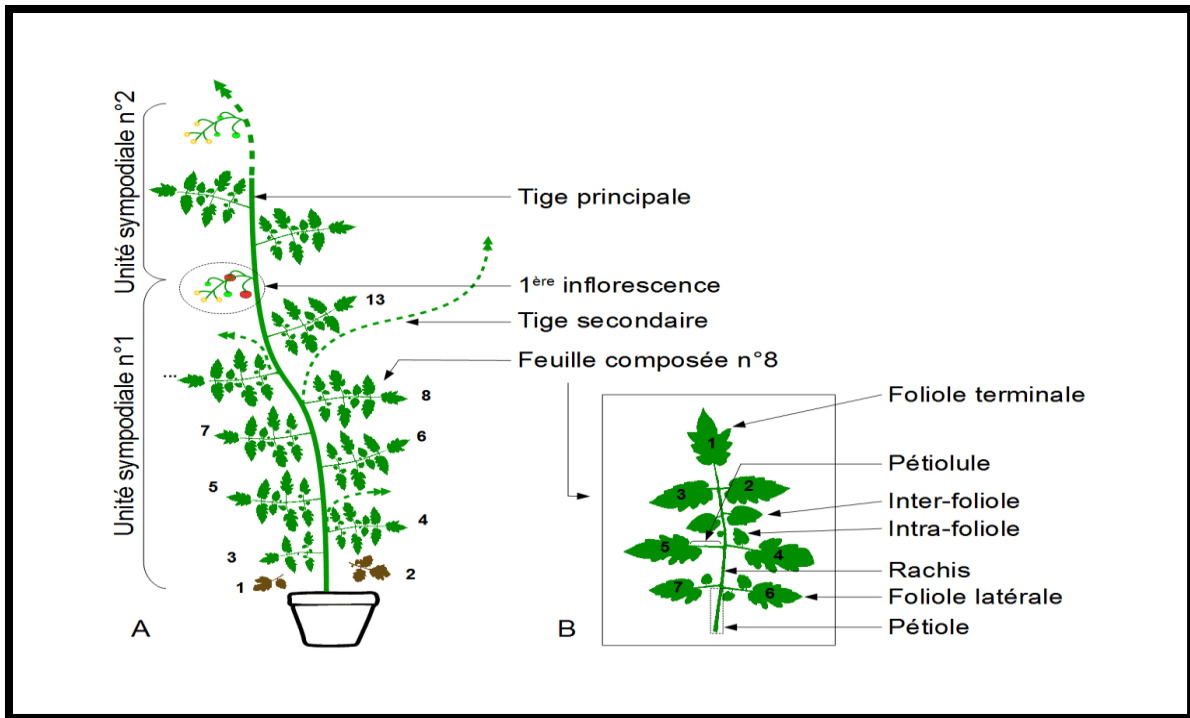


Figure 4 : Représentation schématique de l'architecture aérienne de la tomate cerise

## 7. Importance de la tomate

### 1.7.1. Importance économique

À l'échelle mondiale, la tomate est classé 2eme culture légumière après la pomme de terre et par son volume de production (Fig. 5). En effet, près de cinq millions d'hectares (4,98 million ha) sont réservés annuellement à cette culture avec une production de plus de 34 millions de tonne (FAO, 2015).

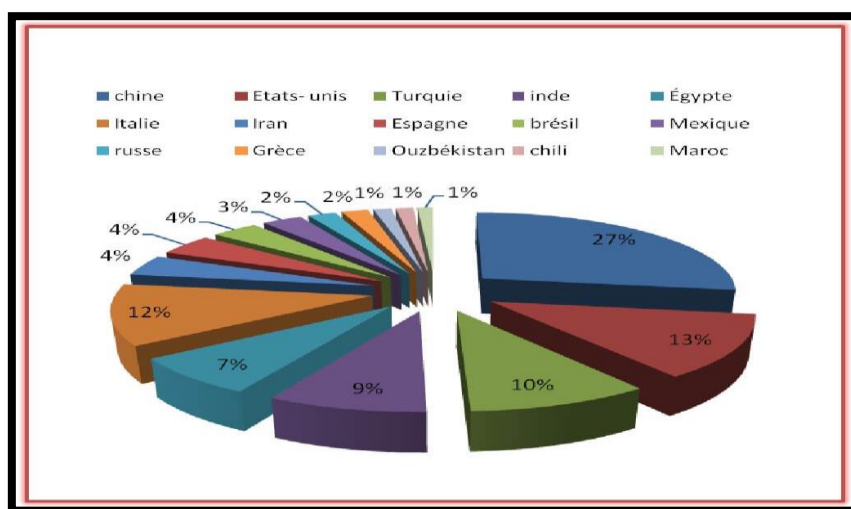


Figure 5 : Les principaux pays producteurs de tomate dans le monde (1997-2007) (F.A.O, 2009) .

### 1.7.2. Importance nutritionnel

La tomate est l'une des principales cultures vivrières au monde, représentant le deuxième légume le plus produit et consommé dans l'ouest pays (Willcox *et al.*, 2003). Avec ses produits dérivés, les tomates sont l'une des principales sources alimentaires de caroténoïdes, fournissant environ 80% de l'apport quotidien de lycopène, et de folate, acide ascorbique, flavonoïdes, a-tocophérol et potassium dans le régime alimentaire occidental (Bramley, 2000; Willcox *et al.*, 2003).

### 1.7.3. Importance médicinal

Plusieurs études épidémiologiques ont souligné l'effet bénéfique de la consommation de tomates dans la prévention des maladies chroniques telles que cancer et maladies cardiovasculaires (Klipstein-Grobush *et al.*, 2000; Giovannucci *et al.*, 2002). Cet effet a été principalement attribué à l'activité antioxydante des composés phytochimiques de la tomate, en particulier lycopène, un désactivateur de radicaux très efficace capable de lutter contre les réactifs les espèces oxygénées et ainsi éviter les lésions cellulaires (Riso *et al.*, 2004).

Les personnes qui mangeaient régulièrement des tomates ont un risque réduit de contracter des cancers du poumon, de la prostate, de l'estomac, du col de l'utérus, du sein, oral, colorectal, de l'œsophage, du pancréas et de nombreux autres types de cancer (Debjat *et al.*, 2012).

*Chapitre II*  
*Salinité*



## Chapitre II. La salinité

### II.1. Définition

La salinité des sols se définit comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles dans le sol, ou lorsque les concentrations en sodium ( $\text{Na}^+$ ), Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées (Asloum, 1990).

D'après Mermoud (2006), la salinisation des sols est le processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire, qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol; il s'ensuit une diminution des rendements et, à terme, une stérilisation du sol.

**Tableau 2:** Superficie affectée par la salinité dans le monde (Lasram, 1995).

Régions	Superficie en million d'hectares
Afrique	80.5
Europe	50.8
Amérique du Nord	15.7
Amérique du Sud	129.2
Asie du Sud	87.6
Australie	357.5
Mexique et Amérique centrale	2
Asie centrale et du Nord	211.7
Asie du Sud Est	20
Total	955

### II.2. Origine de la salinité

La connaissance de l'origine de la salinité, du dynamisme de cette salinité dans le sol et de la nature des composés chimiques qui la constituent demeure un préalable indispensable à la compréhension et à l'amélioration des terrains salés. (Halitim, 1988).

En Algérie, les sels les plus fréquents dans les régions arides et semi-arides sont surtout les chlorures et les sulfates de sodium, les sulfates de magnésium et à un moindre degré les carbonates de sodium (Halitim, 1988).

**II.2.1. Salinité primaire**

Elle représente 80% d'origine naturelle. On parle alors de salinisation primaire ; due aux sels se formant lors de l'altération des roches ou à des apports naturels externes (Bryssine, 1961).

Elle est le résultat de l'accumulation des sels sur une longue période de temps, dans le sol ou dans les eaux souterraines (Antipolis, 2003).

**2.2.2. Salinité secondaire**

Le 20% des terres salinisées ont une origine "anthropique". On parle alors de la salinisation "secondaire", induite par l'activité humaine, liée aux pratiques agricoles et en particulier à l'irrigation (FAO, 2008).

Les causes les plus communes sont le défrichage et le remplacement de végétation pérenne par les cultures annuelles ainsi que les systèmes d'irrigation utilisant l'eau riche en sels ou ayant un drainage insuffisant (Antipolis, 2003).

*Chapitre III*  
*Stress salin*  
*et plante*

## Chapitre III. Stress salin et plante

La salinisation progressive des sols est un facteur limitatif majeur de la productivité agricole. A l'inverse des halophytes naturellement tolérantes aux sels (NaCl étant en général majoritaire), la plupart des espèces d'intérêt agronomique sont rangées dans le groupe des glycophytes. (Levigneron *et al.*, 1995).

### III.1. Définition de stress

Le stress, dans le sens biologique du mot, est : « une force ou une influence hostile qui tend à empêcher un système normal de fonctionner » (Jones et Jones, 1989 cité par Hopkins, 2003). Mais si on se réfère aux plantes, ça sera donc : « un facteur environnemental qui tend à réduire la vitesse de certains processus physiologiques, de sorte qu'elle devient inférieure à la vitesse maximale que la plante pourrait soutenir dans des conditions non stressantes ». (Lambers *et al.*, 2008).

Il correspond à toute condition de l'environnement ou combinaison de conditions qui empêche la plante de réaliser l'expression de son potentiel génétique pour la croissance, le développement et la reproduction (Jones et Qualset, 1984).

### III.2. Types de stress

#### III.2.1. Le stress biotique

Le stress biotique est causé par des organismes vivants (champignons, bactéries, virus, nématodes, insectes, etc.) (Marion, 2016). Afin d'y faire face, la plante met en place un système de défense qui fait intervenir une chaîne de réactions. (Shilpi et Narendra., 2005).

#### III.2.2. Le stress abiotique

Le stress abiotique due à des facteurs environnementaux tels que la sécheresse, le gel, les déficiences en nutriment, le vent, etc.

Le stress peut déclencher plusieurs réponses à plusieurs niveaux de la plante (Shilpi et Narendra. 2005), de sorte que la croissance et la productivité soient réduites, la plante est considérée comme étant 'stressée' (Coude-Gaussen et Rogno, 1995).

Les stress peuvent également affecter le fonctionnement de la plante en perturbant les flux ioniques (Langridge *et al.*, 2006) ou en altérant les parois ou membranes cellulaires (Zhu, 2001).

- **Stress salin**

Le stress salin est un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> (Hopkins, 2003). La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter sans grand

dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées (Levigneron *et al.*, 1995).

Dans le cas d'un stress salin, une double problématique se pose à l'organisme végétal: d'un côté la présence du sel, en abaissant le potentiel hydrique du sol, menace l'approvisionnement en eau de la plante. De l'autre, l'absorption du sel dans les tissus menace le bon fonctionnement physiologique des cellules (Calu, 2006).

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

- **Le stress hydrique**

Une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique (Levigneron *et al.*, 1995).

L'entrée de l'eau dans les tissus du cortex racinaire est assurée par capillarité et osmose. Elle est donc d'autant plus aisée que la solution du sol est à une pression osmotique plus faible (Mangel et Kirkby, 1982 in Snoussi et Halitim, 1998). . Il se traduit chez la plante par une série de modification qui touchent les caractères morphologiques, physiologiques et biochimiques à partir du moment où les besoins en eau de la plante sont supérieurs aux quantités disponibles (Brisson, 2008).

- **Le stress ionique**

En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique (Levigneron *et al.*, 1995).

Des concentrations excessives d'ions chlorures et sodium dans la solution du sol peuvent causer une toxicité dans la plante. Ces ions peuvent être absorbés soit par les racines soit par contact direct avec les feuilles (Maillard, 2001).

- **Le stress nutritionnel**

Certains sels peuvent être toxiques pour les plantes et peuvent en affecter la balance nutritionnelle s'ils sont présents en concentration excessive ou en proportion anormale (Snoussi et Halitim, 1998).

Les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol (Tester et Davenport, 2003 in Jabnourne, 2008).

Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale. En particulier, vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires, le Sodium entre en compétition avec le Potassium et le Calcium, les chlorures avec le nitrate, le phosphate et le sulfate (Levigneron *et al.*, 1995).

### III.3. Effet de la salinité sur la physiologie de plantes

Durant le déclenchement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétiques... sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress. (Parida et Das, 2005).

#### III.3.1. Effet de la salinité sur la germination

Chez les glycophytes et les halophytes, la germination est inhibée soit par l'empoisonnement de l'embryon par des ions toxiques soit en empêchant l'assimilation d'eau en présence de la Salinité (Ronchy, 1999)

La plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée (Maillard, 2001). Plusieurs auteurs ont montré un retard de la germination causé par la salinité chez plusieurs espèces, ( Ndour et Danthu, 2000; Boulghalagh *et al.*, 2006, Benata *et al.*, 2006),

Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (Ungar, 1978 et Kabar, 1986 in Bouchoukh, 2010).

#### III.3.2. Effet de la salinité sur la croissance et développement

La salinité des sols et des eaux demeure, pour les régions arides et semi arides, un obstacle majeur à la croissance des végétaux. En effet, les sels accumulés dans le sol peuvent limiter ou complètement arrêter la croissance du végétal suite à une élévation de la pression osmotique du milieu et/ou à l'effet toxique spécifique des éléments (Arbaoui *et al.*, 1999).

La concentration élevée de NaCl diminue également l'absorption de  $\text{Ca}^{2+}$ . L'augmentation de la concentration en  $\text{Na}^+$  s'accompagne d'une réduction de la concentration en  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , N, P et  $\text{Ca}^{2+}$  dans la plante (Levitt, 1980).

Un stress salin extrême conduit au nanisme et à l'inhibition de la croissance racinaire. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir fini leur croissance et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite (Calu, 2006). Les effets néfastes de la salinité sur la croissance des plantes sont généralement associés au faible potentiel osmotique de la solution du sol et au niveau élevé de toxicité du sodium (et du chlore pour certaines espèces) qui provoquent des

perturbations multiples sur le métabolisme, la croissance et le développement des plantes aux niveaux moléculaire, biochimique et physiologique (Winicov 1998; Munns 2002 ; Tester et Davenport 2003; Yamaguchi et Blumwald 2005, in Hanana *et al.*, 2011)

### **III.3.3. Effet de la salinité sur l'absorption:**

Les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol (Tester et Davenport, 2003 in Jabnour, 2008).

En présence de sel, l'absorption des cations  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  dépasse souvent celle des anions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^-$  et  $\text{NO}_3^-$ , ce qui engendre un déficit anionique pour le végétal. Dans les feuilles, les Chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) sont toujours accumulés proportionnellement à la teneur globale en sel et en plus grande quantité que le  $\text{Na}^+$  (Rahmoune *et al.*, 2000).

### **III.3.4. Effet de la salinité sur la photosynthèse**

La salinité affecte en premier lieu la croissance de la plante puis la photosynthèse, causant, une réduction de la capacité photosynthétique. Particulièrement chez les glycophytes. La présence continue de  $\text{NaCl}$  dans le milieu de culture entraîne une augmentation, d'une part, de l'épaisseur des limbes et, d'autre part, des vitesses d'ouverture des stomates (Greenway et Munns, 1980). La teneur en sel élevée dans les tissus influence également les enzymes photosynthétiques et par voie de conséquence les réactions d'échange de lumière et de gaz (El Hendawy, 2004).

*Chapitre IV*  
*Mécanismes d'adaptation*  
*au stress salin*



## Chapitre IV. Mécanisme d'adaptation au stress salin

Le degré de salinité dans le milieu, les plantes en général sont exposées à des modifications de leur comportement morpho-physiologique et biochimique.

### IV.1. Adaptation morphologique

Les plantes manifestent des adaptations diverses en présence d'un excès de sel, un allongement faible des organes, un raccourcissement des entrenœuds et une réduction de la surface foliaire. Les différentes parties de la plante ne réagissent pas de la même façon en milieu salin (Hamza, 1982).

### IV.2. Adaptation physiologique

La plante pour survivre à divers stress hydrique, salin ou thermique doit réaliser divers réactions.

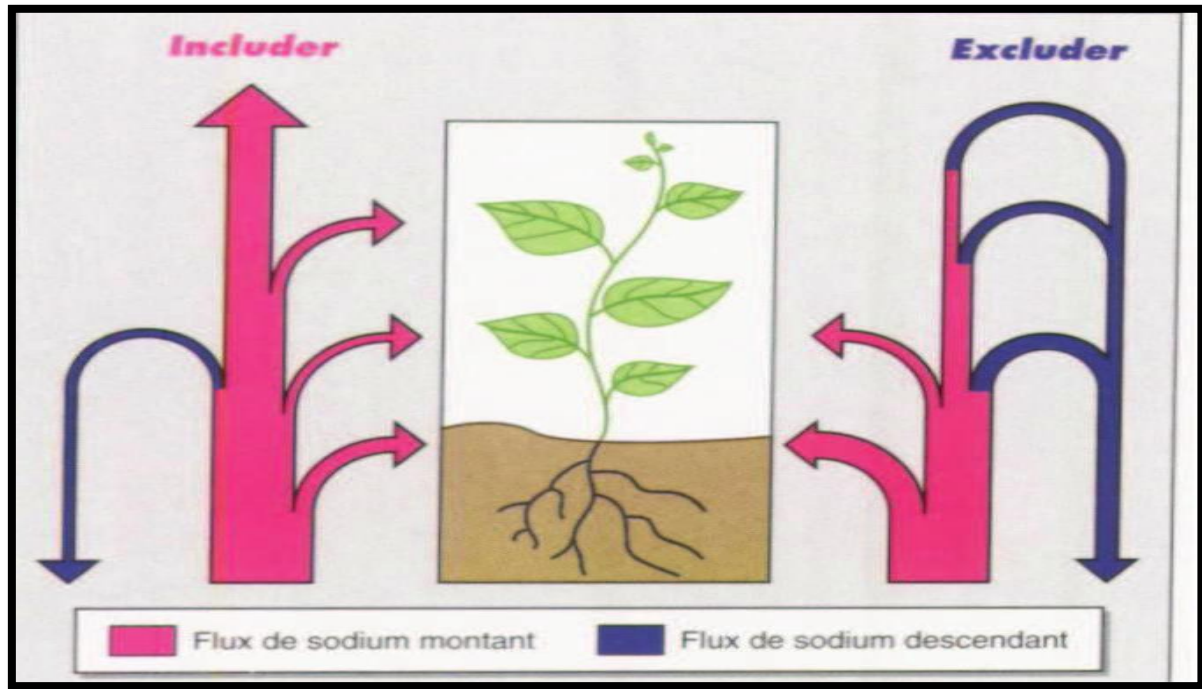
#### IV.2.1. Exclusion

Permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le  $\text{Na}^+$  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 (Hanana *et al.*, 2011), la sortie de  $\text{Na}^+$  des vaisseaux du xylème est en échange d'une entrée de  $\text{K}^+$  (Luttge *et al.*, 2002).

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. Ces modifications provoquent une déviation du métabolisme qui entraîne une dépense énergétique (Hanana *et al.*, 2011).

#### IV.2.2. Inclusion

La stratégie "Inclusion" caractérise le fait de favoriser le stockage du sodium dans les feuilles en préservant le méristème apical alors que la stratégie "Exclusion" caractérise le fait de favoriser la recirculation de  $\text{Na}^+$  vers les racines. Les plantes "incluantes" résistantes au  $\text{NaCl}$ , accumulent le  $\text{Na}^+$  dans les feuilles où il est séquestré (dans la vacuole, l'épiderme foliaire, les limbes âgés...) (Mehdi, 2008).



**Figure 6** : Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes de type incluser ou excluser (Levigneron *et al.*, 1995).

### VI.2.3. Compartimentation vacuolaire

Celle-ci consiste à évacuer du cytoplasme les ions Na<sup>+</sup> en excès vers la vacuole afin d'éviter leur effet toxique et inhibiteur à l'encontre des processus enzymatiques. Ce mécanisme de compartimentation vacuolaire est assuré par l'action d'un antiport vacuolaire sodium/proton (Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>) dont l'énergie est fournie par les pompes vacuolaires (Hanana *et al.*, 2011).

## VI.3. Adaptation Métabolique

### VI.3.1. Accumulation des solutés organiques (stratégie osmotique)

- **La Proline**

La proline est l'un de ces solutés utilisée par la plante comme osmoprotecteur. (Mcue et Hanson, 1990). Les teneurs en proline s'accroissent rapidement chez de nombreuses mono ou dicotylédones soumises à un stress salin. Cette augmentation de la concentration de proline cytoplasmique est consécutive à la stimulation de sa synthèse (Hanana *et al.*, 2011).

La proline agit en tant que composé soluble compatible dans l'ajustement osmotique pouvant atteindre de fortes concentrations sans exercer d'effet toxique comme le cas des ions. En plus du rôle osmotique attribué à la proline, celle-ci intervient dans la détoxification des formes actives d'oxygène, et la stabilisation des protéines protégerait l'intégrité de la membrane plasmique, et constituerait une source de carbone et d'azote (Hanana *et al.*, 2011).

L'apport exogène de proline permet dans certains cas d'améliorer le comportement des plantes vis-à-vis du stress, mais des concentrations élevées entraînent l'effet inverse (Hanana *et al.*, 2011).

- **Les sucres**

Plusieurs études physiologiques ont démontré que l'accumulation des sucres et des polyols, principalement suite à l'hydrolyse de l'amidon, était stimulée par un stress salin chez différentes espèces végétales. Une forte corrélation a été établie entre l'accumulation des sucres et le niveau de tolérance à la salinité. L'augmentation de la concentration des polyols entraîne une augmentation du potentiel osmotique du cytoplasme, ce qui permet une plus grande compartimentation de sodium dans la vacuole. De plus, ces polyols agissent en tant qu'osmoprotecteurs des membranes et des protéines (Hanana *et al.*, 2011).

Les sucres pourraient agir en tant qu'osmoticum, protéger des macromolécules spécifiques (enzymes) et contribuer à la stabilité des structures membranaires (Hanana *et al.*, 2011).

*Chapitre V*  
*Effet de silicate de potassium*  
*sur les plantes*

## Chapitre V. Effet de silicate de potassium sur les plantes

### V.1. 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. Cette forme de silicium soluble peut conduire à la formation de minéraux secondaires, (McKeague and Kline 1963).

Les végétaux participent également au cycle du Si (Meunier 2003). Ils absorbent le Si présent dans la solution du sol qui se précipite dans les organes en silicium phytogéniques (phytolites) puis est restitué au sol par la dégradation des tissus végétaux et par dissolution (Meunier, 2003).

Les phénomènes de dégradation et d'absorption confèrent à la plante une importance primordiale dans le cycle du Si (Alexandre *et al.*, 1997).

Le cycle terrestre alimente ainsi le cycle marin en Silicium soluble via les rivières (Exley, 1998). En effet, au cours du développement du sol, une partie du silicium peut être lessivée et se retrouver dans les eaux de surface ou souterraines.

### V.2. Silicium dans la plantes

#### V.2.1. Prélèvement et teneur du silicium dans les plantes

Le silicium étant un des éléments les plus abondants dans les sols (Ma et Yamaji, 2006). La teneur en Si dans les plantes peut être comprise entre 1 à 100 g/kg de poids sec et donc varier en fonction du type de plantes et du milieu de croissance (Meunier, 2003).

Le Si est prélevé par les plantes sous forme d'acide monosilicique non chargé ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) présent dans la phase aqueuse du sol lorsque le pH est inférieur à 9 (Ma et Takahashi, 2002).

De récentes études ont montré que le mode de prélèvement actif du Si et son transport dans la plante sont sous contrôle métabolique (Ma *et al.*, 2004). Des transporteurs de Si responsables du mode de prélèvement actif ont été identifiés dans les racines et dans les parties foliaires (Ma *et al.*, 2006, 2007 ; Yamaji *et al.*, 2008). Ces transporteurs sont présents au niveau de l'endoderme et du site de chargement du xylème. La teneur en Si des plantes peut être influencée par différents facteurs tels que les minéraux, le contenu en oxydes d'Al et de Fe, le contenu en eau et le pH (Henriet *et al.*, 2008).

### **V.2.2. Absorption, Transport et accumulation du silicium dans la plante**

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 de Si se fait par diffusion et flux de masse (Raven, 2001).

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).

Le Si se localise principalement dans les sites majeurs de transpiration et se concentre généralement d'avantage dans les tissus âgés (Ma et Yamaji, 2006).

### **V.3. Effet du silicium sur la plante**

#### **V.3.1. Effets du silicium sur la croissance**

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, 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 (Ma *et al.*, 2001). Des effets positifs ont également observé sur la tomate, le concombre, le soja, le coton et le fraisier. (Ma et Takahashi, 2002).

Le Si soluble améliore la croissance, le développement et le rendement de nombreuses plantes telles que le riz, la canne à sucre et de nombreuses céréales (Savant *et al.*, 1999 ; Datnoff *et al.*, 2001).

Tous ces effets positifs du Si sur la croissance des plantes sont dus au dépôt du silicium dans les parois cellulaires qui confère une meilleure solidité aux tissus. Le Si favorise résistance à la verse de nombreuses plantes, il stimule la photosynthèse en améliorant l'efficacité de l'utilisation de la lumière (Ma et Yamaji 2008, Ma et Takahashi 2002).

#### **V.3.2. 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 (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 abiotiques (Ma, 2004). 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 réduit la translocation de sodium par réduction de son transport apoplasmique à travers les racines.

*Etude expérimentale*



*Chapitre I*  
*Matériel et méthodes*

## I. Matériel et méthodes

### I.1. Objectif de l'expérimentation

L'expérimentation consiste à étudier l'effet de silicate de potassium sur les paramètres de germination des graines chez la tomate « *Lycopersicon esculentum var. cesariforme* » stressée par la salinité.

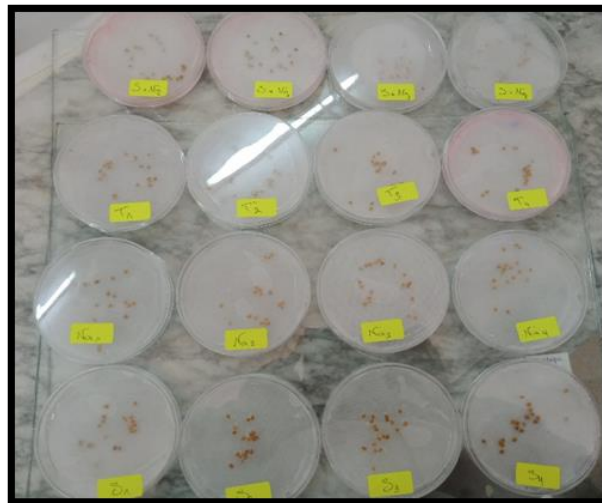
### I.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est la tomate cerise (*Lycopersicum esculentum cesariforme*), variété Red Cherry, variété vigoureuse à portée indéterminée, avec un calibre des fruits qui varie entre 15 et 35 cm et poids moyen de 10 à 35g, bien sucrée. La semence provient du centre de recherche agricole (Egypte).

### I.3. Conditions d'expérimentation et conduite de l'essai

#### I.3.1. Conduite de l'essai

L'expérimentation est conduite au niveau de laboratoire de physiologie végétale de la faculté des sciences de la nature et de la vie. Université Ibn Khaldoun de Tiaret.



**Figure 7** : Dispositif expérimental, la mise en germination des graines après 24h.

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

Les graines 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 100mM NaCl avec ou sans silicate

(300mM, 100mM+Si). Chaque boîte porte sur 20 graines, soit 4 répétitions pour chaque traitement. La germination est faite dans une étuve à une température de 25°C.

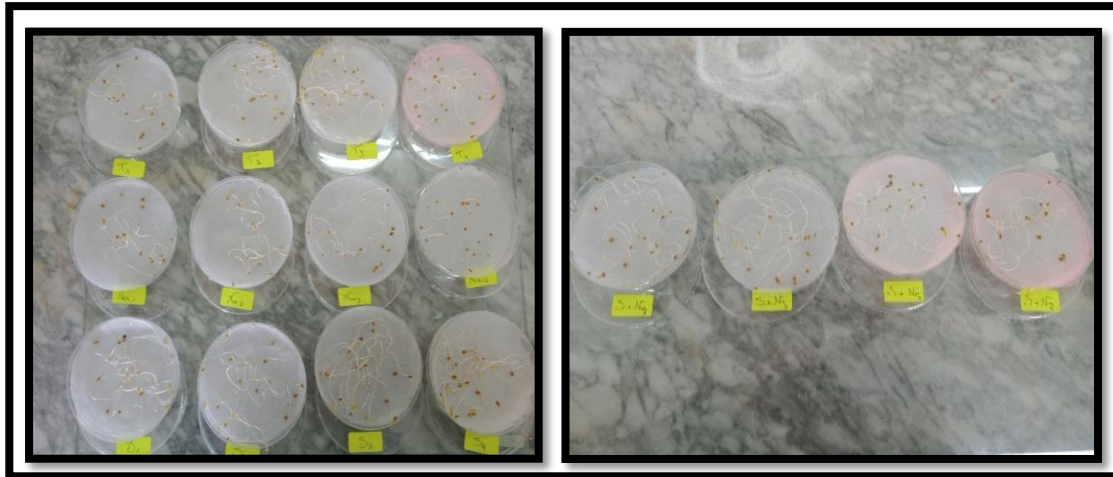
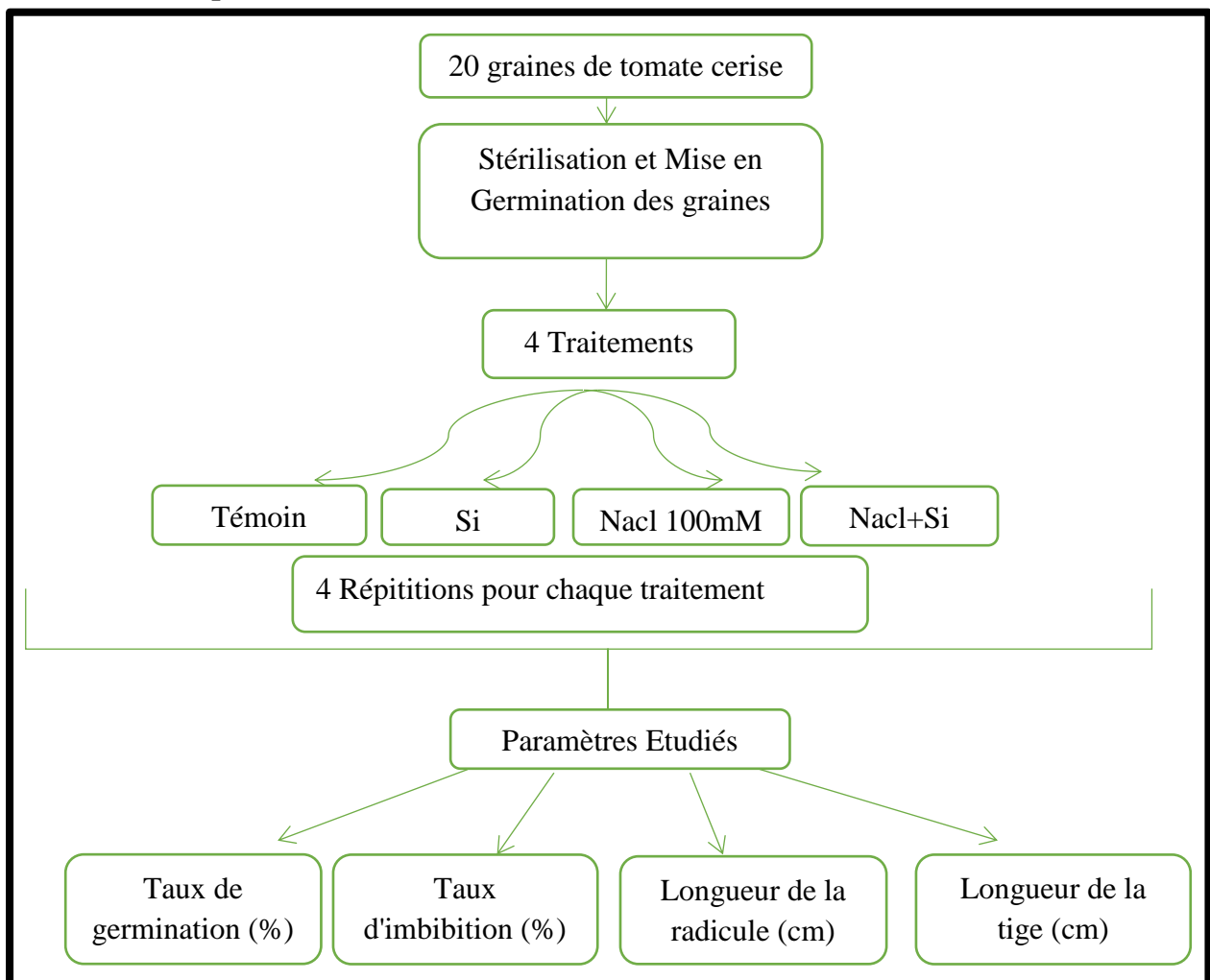


Figure 8 : Germination des graines après 120h

#### I.4. Protocol Expérimental



**I.5. Paramètres mesurés****I.5.1. Le taux d'imbibition**

L'imbibition des graines en germination est évaluée par des pesées effectuées chaque 24h et ce jusqu'à 92h.

**I.5.2. 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.

**I.5.3. Longueur de la radicule**

La longueur de la radicule a été mesurée à l'aide d'une règle graduée après 120 h de la mise en germination des graines.

**I.5.4. Longueur de la tigelle**

Les mêmes mesures ont été effectuées pour l'estimation de la longueur de la tigelle et ce après 120h.

**I.6. Analyse statistique**

Les résultats sont soumis à l'analyse de la variance à un seul facteur, à l'aide du logiciel SPSS 16.0.

# *Chapitre II*

## *Résultats et discussion*

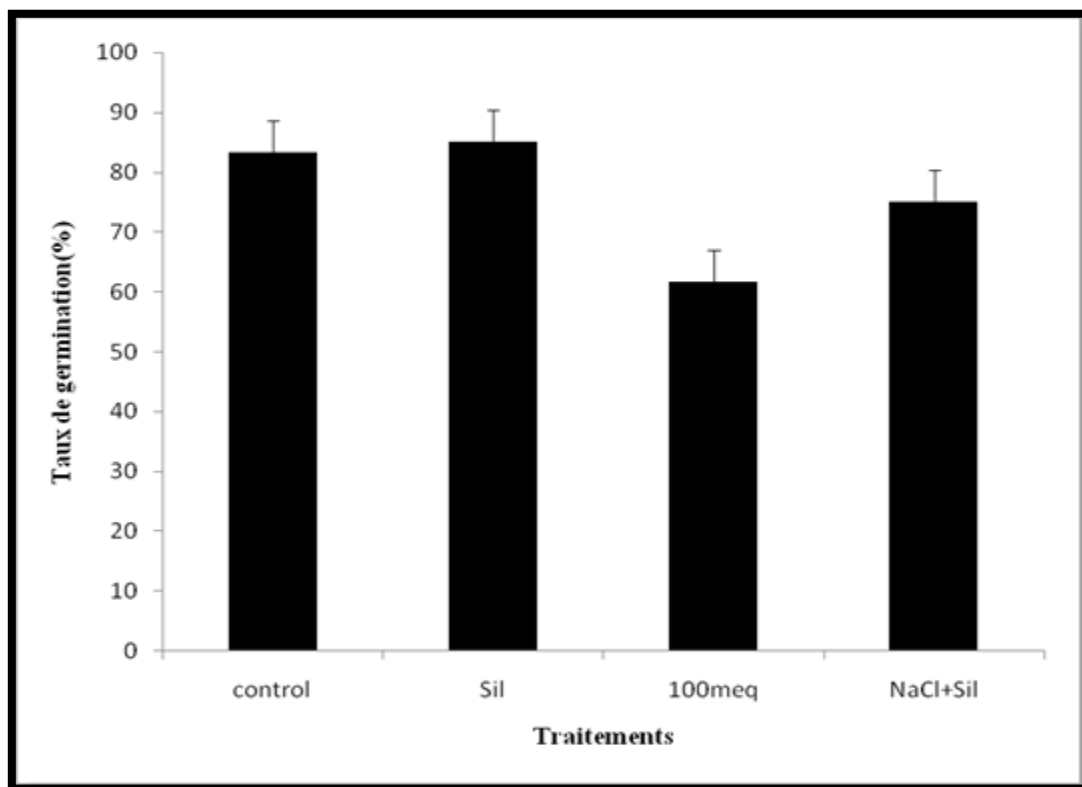
## II. Résultats et discussion

### I. Résultats

#### I.1. L'effet de la salinité et le Si sur le taux de germination

Le taux de germination des graines, représente le pourcentage du nombre total des graines germées. Les résultats montrent que, le taux de germination varie distinctement avec les traitements (Fig. 9). Ceci est confirmé par l'analyse de la variance, qui a révélé un effet très hautement significatif ( $P < 0.01$ ).

Les résultats moyens montrent que, l'application du régime salin provoque une nette diminution du taux de germination et les graines s'avèrent plus affectés. Elles inscrivent par conséquent des valeurs très faibles (62%). Ainsi on note que les graines soumise en présence de silicate seul, se distinguent des autres traitements, en inscrivant les plus hautes valeurs avec un taux de germination estimé à 85%. Néanmoins, l'apport de silicate, en présence de sel a favorisé l'augmentation du taux de germination des graines, en inscrivant par conséquent des valeurs comparables à celle du témoin (75%).



**Figure 9 :** Effet de la salinité et le Si sur le taux de germination

## I.2. L'effet de la salinité et le Si sur l'imbibition

Les résultats obtenus (Fig. 10) démontrent que l'absorption d'eau par les graines a été bien remarquée à partir des 48 heures de la mise en germination. Ces réductions de prise d'eau ont une corrélation avec l'application du sel dans les milieux. A cette étape les graines soumises à la contrainte saline équivalente à 100meq manifestent la faible valeur de la quantité d'eau absorbée (0,0784g). A l'opposé les graines soumises à la germination dans le milieu sous contrainte saline additionné au silicate, subissent le plus haut niveau d'hydratation avec une quantité d'eau absorbée évaluée à 0,0802g.

Après cette durée l'acuité d'absorption s'affaiblit et s'annule à la limite des 92 heures chez l'ensemble des traitements du milieu de germination. Mais dans le milieu mené au silicate, les quantités d'eau absorbées se montrent les plus élevées (0,0990g).

Donc on peut dire que l'apport du silicate a permis d'atténuer l'effet du NaCl chez les graines testées.

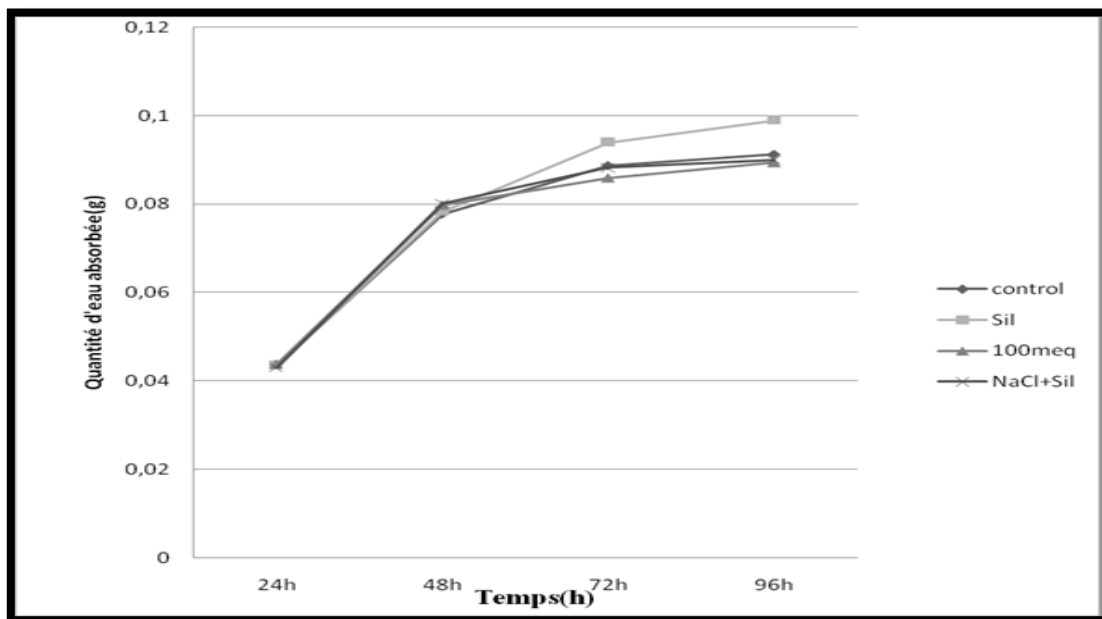


Figure 10 : Effet de la salinité et le Si sur le taux d'imbibition

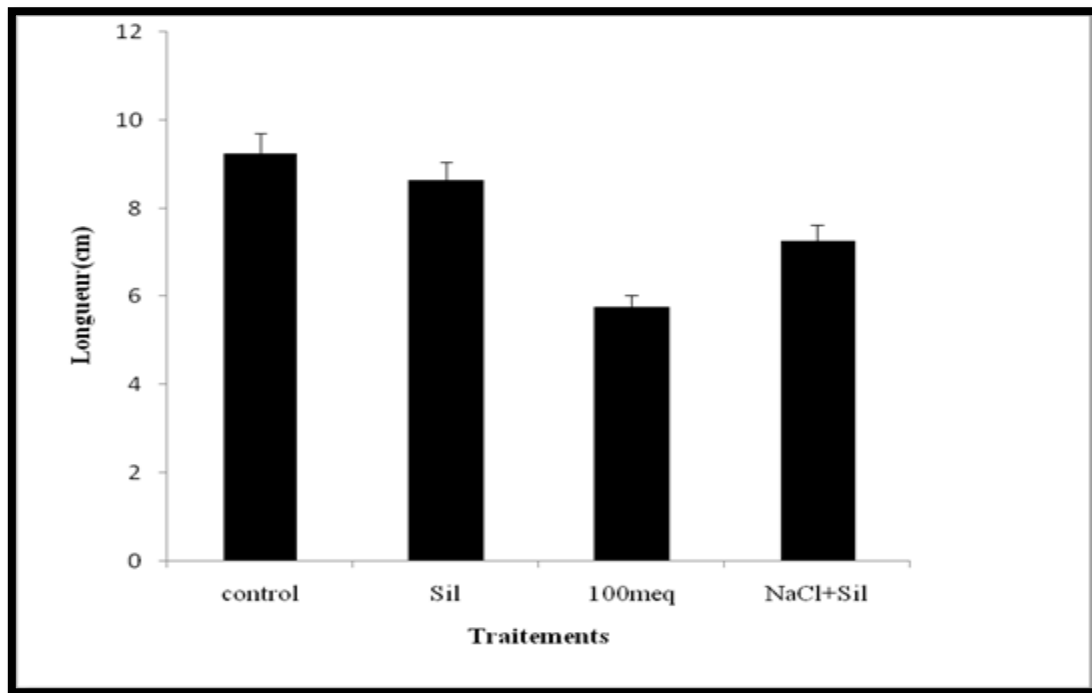
## I.3. Effet de la salinité et le Si sur la longueur de la racicule

L'analyse des résultats obtenus (Fig. 11) indique que les différents milieux de germination appliqués ont un impact significatif sur la longueur de la racicule ( $P < 0.05$ ).

Les résultats moyens illustrés dans tableau 3, montrent d'importances variations de longueur à travers les différents traitements.

D'une manière générale, c'est au niveau du lot témoin et celui conduit au silicate, que les valeurs des longueurs sont les plus élevées. Ainsi on note à l'échelle de ces mêmes traitements

que les plantules se distinguent par les plus longues racicules, en inscrivant 9,25cm et 8,62cm chez le traitement témoin et celui mené au silicate respectivement. Selon ces mêmes résultats, il se démontre que l'application du NaCl dans le milieu de germination s'accompagne une réduction notable de l'élongation de la longueur de la racine obtenue par développement de la racicule de l'embryon (5,75cm). Cette tendance réductrice a été levée par l'apport du silicate. En conséquence, les valeurs inscrites à travers les plantules avoisinent celles enregistrées chez le traitement conduit au silicate seul.



**Figure 11** : Effet de la salinité et le Si sur la longueur de la racicule.

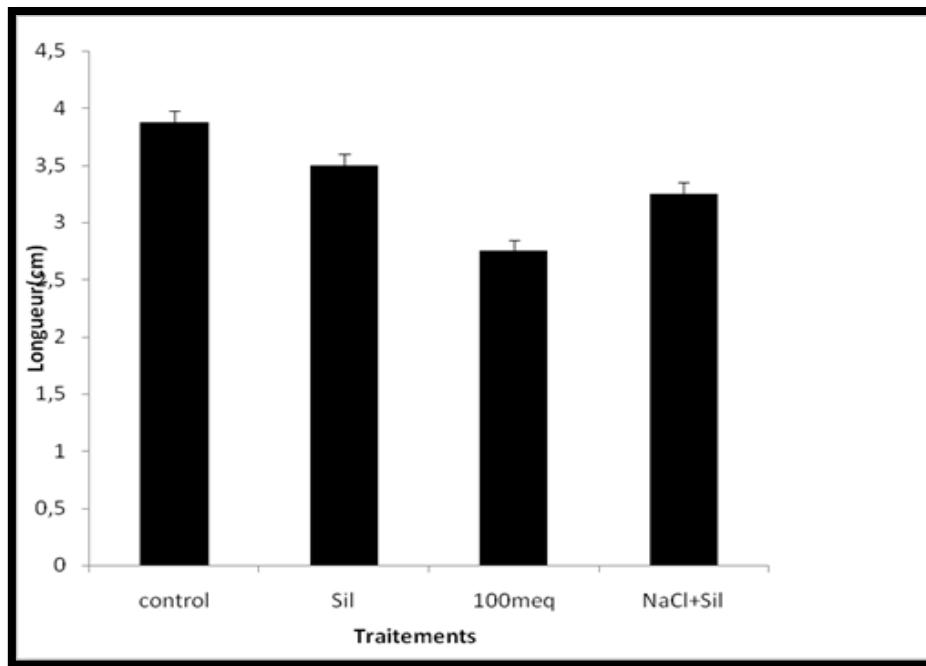
#### **I.4. Effet de la salinité et le Si sur la longueur de la tigelle**

L'étude des résultats statistiques obtenus (Tab.3) montrent que l'application des différents milieux de germination ont de faibles variations de l'expression de la longueur de la tigelle ( $P>0,05$ ).

La figure 12, indique que, les graines menées dans le lot témoin, la longueur estimée à 3 cm. Cependant au niveau du traitement conduit à la salinité, il est important de noter, que l'application du NaCl a péniblement affecté ce paramètre morphologique, et on a enregistré une réduction de la croissance, où la longueur inscrite est estimé à 2cm.

Néanmoins, l'apport de silicates, en présence de sel a favorisé la réduction de la longueur de la tigelle, en inscrivant par conséquent des valeurs comparables à celle du témoin.





**Figure 12** : Effet de la salinité et le Si sur la longueur de la tigelle

**Tableau 3** : 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	11.69	0.003
La longueur de la racicule	6.477	0.007
La longueur de la tigelle	1.598	0.242

## II. Discussion

Le milieu salin provoque de nombreux effets négatifs sur le comportement physiologique de la plante, ce qui est dû au faible potentiel osmotique de la solution du sol (stress osmotique) et aux effets des ions spécifiques (stress salin), à un déséquilibre nutritionnel ou une combinaison de ces facteurs (Kausar *et al.*, 2014). Tous ces facteurs ont des effets négatifs sur la germination, la croissance et le développement des activités physiologiques et biochimiques chez les plantes (Rasool *et al.*, 2013).

La germination des graines est une étape importante et vulnérable pour le cycle de développement des angiospermes et de déterminer l'établissement du semi et la croissance des plantes. Malgré l'importance de la germination des graines sous stress salin (Zhang *et al.*, 2014), le mécanisme de la tolérance à la salinité chez les graines est relativement mal compris, en particulier en comparaison avec la quantité d'information actuellement disponible sur la physiologie et la biochimie des végétaux de la tolérance à la salinité (Rivero *et al.*, 2014 ; Parihar *et al.*, 2015).

L'objectif de ce travail était d'étudier l'impact d'une alimentation en Si sur d'importants paramètres de germination en présence de NaCl. La majorité des papiers s'intéressant à l'effet du Si sur ces paramètres se limite à comparer une plante témoin à une plante enrichie en silicium au stade de développement avancés (Nascimento *et al.*, 2018 ; Johnson *et al.*, 2019 ; Hall *et al.*, 2020 ; Rowe *et al.*, 2020). Alors que, dans ce cas-ci, la comparaison s'effectue au stade germination.

Nos résultats montrent que, la germination s'avère plus élevée au niveau du lot témoin et celui traité par le silicate, où les graines manifestent des taux de germination relativement élevés. A l'opposé les graines soumises à la germination dans le milieu salin enregistrent les plus faibles taux de germination. Nos résultats correspondent à ceux de Bouzoubaà (2006), sur le haricot, qui montrent, que les échantillons traités au silicate supportent mieux les conditions de stress et que le pourcentage de germination peut varier du simple à quatre fois plus en présence du silicate selon l'intensité du stress appliquée. Les réponses ont également été différentes selon les espèces.

La diversité de l'influence de la salinité sur la plante offre une gamme importante de critères physiologiques qui peuvent éclaircir la tolérance à la salinité de certaines espèces végétales à différents stades de développement (Morant-Manceau *et al.*, 2004). Le stade germination est une phase crucial dans la vie de la plante, elle commence par une absorption d'eau et la réhydratation des tissus de la graine par un processus appelé imbibition (Hopkins, 2003 ; Alei *et al.*, 2010).

Selon Almansouri *et al.* (2001), la prise d'eau par la graine dépend du potentiel hydrique et l'absorption d'eau n'a lieu que si la valeur du potentiel hydrique des tissus constituant la graine, est inférieure à celle exprimée par le milieu de germination. En effet, l'analyse de la teneur en eau absorbée par les graines, permet d'élucider d'une manière globale l'aptitude à instaurer une meilleure imbibition en présence de sel additionné au silicate. Ce dernier paramètre diminue significativement sous l'effet de la salinité, ces données sont en parfaite concordance avec celles obtenues sur la tomate par Kaya et Ashraf (2015).

Selon les résultats, il se démontre que la présence du NaCl dans le milieu de germination s'accompagne d'une réduction de la longueur de la racine obtenue par développement de la radicule de l'embryon. Cette réduction pourrait être expliquée par l'établissement d'une difficulté d'hydratation des graines suite à un potentiel osmotique élevé entraînant une certaine inhibition des mécanismes aboutissant à la sortie de la radicule hors des téguments et par conséquent un retard de germination des graines (Gill *et al.*, 2003).

Cette réduction a été corrigée par l'apport du silicate au milieu traité à la salinité, ou cette longueur enregistre des valeurs avoisinantes celle enregistrées au niveau du traitement témoin et silicate seul.

Ce résultat corrobore celui de Bouzoubaâ et Taoufi (2008) qui ont également observé un effet bénéfique sur l'élongation de la racine: organe stratégique dans l'approvisionnement en eau et en éléments minéraux des plantes.

Il est à noter que les effets de la salinité se manifestent principalement par un ralentissement de la croissance des plantules, estimée l'émergence de l'axe épicotyle. Selon Zhang *et al.*, (2013), la germination sous contrainte saline n'est pas suffisante pour identifier des espèces tolérantes au sel. Dans ce contexte, de nombreux auteurs ont montré que la réponse à la salinité variait selon le stade de développement de la plante (Abari *et al.*, 2011). Toutefois, la germination et les premiers stades de la croissance seraient les phases les plus sensibles, ils varient selon la teneur de NaCl appliquée, l'espèce, la provenance, le stade végétatif et la partie de la plante (Levigneron, 1995).

Cependant, l'ajout du silicate de potassium au traitement de NaCl a engendré une augmentation significative de la longueur de la tige. Des effets positifs ont également été observés sur la tomate, le concombre, le soja, le coton, le fraisier et le bambou (Epstein, 1999 ; Ma and Takahashi, 2002). L'effet améliorant a été également observé sur plusieurs espèces telles que le blé (Hinsinger *et al.*, 1996) et la canne à sucre, une plante accumulatrice de Si (Ma and Takahashi, 2002). Cependant, cette stimulation de croissance pourrait être la résultante de

l'effet protecteur du silicium contre les stress abiotiques et les effets du Si sont faibles en conditions de culture optimales (Epstein, 1999).

*Conclusion*

**Conclusion**

La germination des graines est une étape importante et vulnérable pour le cycle de développement des angiospermes et de déterminer l'établissement du semis et la croissance des plantes, comme la majorité des Glycophytes , Il apparaît que, la tomate « *Lycopersicon esculentum* var. *cesariforme* », montre une grande sensibilité à la salinité au stade de la 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.

Les résultats de cette étude ont aussi souligné que l'effet de l'application exogène de silicate a un rôle très intéressant et significatif dans l'augmentation de la longueur radiculaire et tigelle. L'effet dépressif du NaCl sur les paramètres physiques de la germination est dû principalement à l'effet osmotique des sels qui pourrait être atténuée par l'application du silicate de potassium.

L'analyse des résultats obtenus montre que l'amélioration de plantes aura un peu plus facile, si les chercheurs ont utilisé des apports tel que le silicium dans l'agriculture en éliminant la salinité et autres stress dépressifs.

# *Références bibliographiques*

## Références bibliographiques

- Abari A.K., Nasr M.H., Hojjati M., and Bayat D. 2011. Salt effects on seed germination and seedling emergence of two Acacia species. *African Journal of Plant Science*. 5(1): 52-56.
- Abbayes H, Chadefaud M, Ferre Y., Feldmann J., Gaussen H., Grasse P., Leredde M., Ozenda P. Prevot A. 1963. *Botanique Anatomie\_Cyclesevolutifs\_systématique*. Masson et Cie. 8: 52-65
- Abdesselam, A. 2012. Contribution à l'étude de l'impact d'un boom à cyanobactérie toxiques sur la croissance de la tomate industrielle *Lycopersicum esculentum* L. (variété 61.08). Mémoire de Magister. « Agriculture et fonctionnement des écosystèmes ». Centre universitaire d'El Taref. P: 50, 51,64.
- Alexandre A, Meunier JD, Colin F, Koud JM. 1997. Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes, *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 61:677-682.
- Andry, 2010. La tomate
- Antipolis, S. 2003. Les menaces sur les soles dans les pays méditerranéens les cahiers du plan Bleu., n°2 : 44 p
- Arbaoui, M., Benkhelifa, M. et Belkhodja, M. (1999) Réponses physiologiques de quelques variétés de blé dur à la salinité au stade juvénile. *CIHEAM - Options Méditerranéennes*, pp. 167-169.
- Ashraf M. 2002. Salt tolerance of cotton: some new advances. *Crit. Rev. Plant Sci*. 21 (1): 1-30
- Ashraf M. 2008. Biotechnological approach of improving plant sal tolerance using antioxydants as markers. *Biotechnol. Adv*. 27(1): 84-93.
- Asloum, H. 1990. Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicum esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis (France): 24-32 p.
- Ayadi, A et al. 1979 ; échange ioniques cellulaire cas des plantes en milieu salé et rôle des parois cellulaire, physiologie Vgls Vol ED caulier paire 90 pp.



- Belfakih M , Ibriz M., Zouahri A. 2013. Effet de la salinité sur la paramètres morpho-physiologiques de deux variétés de bananier. Appl. Biosci.
- Benata, H., Berrichi, A. B., Reda Tazi, M., Abdelmoumen, H. et Misbah El Idrissi, M. 2006. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et le développement de trois espèces légumineuses : *Acacia tortilis* var. *raddiana*, *Leucaenaleucocephala* et *Prosopis juliflora*. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole Settat 16 – 17 Mars 2006. Recueil des résumés. 25p.
- Benchalaal. 1983. Généralités sur la tomate, production végétale, production céréalière et fourragère. Aurès agronome. pp2-6.
- Blamey, M., & Grey-Wilson, C. 2003. La flore d'Europe occidentale. Paris : Flammarion.
- Bouchoukh I., 2010. Comportement écophysologique de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin .p 16- 29- 6 -35 Pédologie : 1085-1093.
- Bouda S., Haddiou A. 2011.Laboratoire de Biochimie et Biotechnologies des Plantes, Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences-Semlalia, B.P. 2390, 40000, Marrakech, Maroc. Revue « Nature & Technologie ». n° 05/Juin 2011.p73.
- Boulghalagh, J., Berrichi, A., El Halouani, H. et Boukroute, A. 2006. Effet des stress salin et hydrique sur la germination des graines du jojoba (*Simmondsiachinensis* [link] schneider). Recueil des résumés. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole, Settat, Maroc, p. 24.
- Boumendjel M. & Boutebba A. 2001. Effet des traitements thermiques sur les antioxydants de la tomate. Synthèse (Annaba) 11:78-85.
- Bouzoubaâ and Taoufiq. 2008. Effet de la fertilisation silicatée sous trois régimes de fertigation 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.
- Bramley, P.M., 2000. Is lycopene beneficial to human health? *Phytochemistry* 54,233–236.
- Brisson N. 2008. Modéliser la réponse des cultures à la contrainte hydrique avec le model STICS pour comparer des stratégies et anticiper les changements climatiques. Note technique Agroclim INRA Avignon, pp: 9-18.

- Bryssine G. 1961. Salinité du sol et ses problèmes. Cahiers de la recherche Agronomique, 12p
- Calu, G. 2006. Effet du stress salin sur les plantes. Comparaison entre deux plantes modèles : Arabidopsisthaliana et Thellungielahalophila. Master 1, Recherche biotechnologie : du gène à la molécule SpectroSciences, article 23, 10 p
- Causse M., Caranta C., Saliba-Colombani V., Moretti A., Damidaux R., Rousselle P.2000. INRA, Station de génétique et amélioration des fruits et légumes, BP 94, 84143 Montfavet cedex, France.
- Chaux, C.L.(1971). Livre Classification de Nic- 2de édition, version
- Chaux. C.L et Foury .C.L. 1994. Cultures légumières et maraîchère, TOME III : légumineuses potagères, légumes fruit. TEC et Doc Lavoisier, Paris. P563.
- Cuartero J, Fernandez-Munez R. 1999. Tomato and salinity. Scientia. Hort., 78: 83-125.
- Danneyyrolles - Jean-Luc. 1999. La Tomate Actes Sud
- Daroui E., Boukroute A., Berrichi N. 2013. B- Sciences Agronomiques et Biologiques Revue « Nature & Technologie », n° 08/Janvier 2013. pp 32 ,33.
- Datnoff LE., Seebold KW, Correa-VFJ. 2001. The use of silicon for integrated disease management: reducing fungicide applications and enhancing host plant resistance. In Datnoff LE., Snyder GH and Korndörfer GH (eds.) Silicon in Agriculture. Elsevier Sciences, Amsterdam, the Netherlands, pp 171-184
- De Broglie L. A. Guérault D. 2005. Tomates d'hier et d'aujourd'hui.P97.
- Debjat Bhowmik. K.P. Sampath Kumar Shraavan Paswan. Shweta Srivastava. 2012.
- El Hendawy, S.E.S. 2004. Salinity tolerance in Egyptian Spring Wheat: thèse de Doctorat d'Etat. Université München, Allemagne, pp.1-13.
- El Mekaoui. 1987. Etude de la tolérance du Nacl chez le blé dur tendre et d'orge Thèse ING, Montpellier France.
- 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.

- Exley C. 1998. Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 69: 139-144.
- FAO (Food and Agricultural Organization). 2008. Land and plant nutrition management service. Available online at: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/>
- FAO. (2008). *Annuaire statistique de la FAO*.
- FAO-Stat. 2009. World tomatoes, all production by country, 1990-2005 9-10p
- FAO-Stat. 2015. Agricultural production, cropprimarydatabase. Food and agricultural .
- 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 JG, Chérif M, Belanger RR. 2001. Silicon and disease resistance in dicotyledons. Pages 159-169. in: *Silicon in Agriculture*. L. E. Datnoff, G. H. Snyder, G. H. Korndörfer, eds. Elsevier, Amsterdam.
- Foyer, C.H., and Noctor, G. 2000. Oxygen processing in photosynthesis: a molecular approach. *New Phytol*. 146 : 359–388.doi:10.1046/j.1469-8137.2000.00667.x
- Frankel, E.N. 1984. Chemistry of free radical and singlet oxidation of lipids. *Prog. Lipid Res*. 23(4) : 197–221. doi:10.1016/0163-7827 (84)90011-0. PMID:6100997.
- G Coude-Gaussen, Rogno P. 1995. *Désertification et aménagement au Maghreb*. Editions Le Harmattan, 313 pages.
- Gallais A, Bannerot H. 1992. *Amélioration des espèces végétales cultivées, objectifs et critères de sélection*. INRA. Paris, 675p.
- Gill P.K., Sharma A.D., Singh P., Bhullar S.S. 2003. “Changes in germination, growth and soluble sugar contents of *Sorghum bicolor* L. Moench seeds under various abiotic stresses”, *Plant Growth Regulation* 40 (2), pp. 157-162.
- Giovannucci, E., Rimm, E.B., Liu, Y., Stampfer, M.J., Willett, W.C. 2002. A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk. *Journal of National Cancer Institute* 94, 391–398.

- Gong H. J., Chen K. M., Zhao Z. G., Chen G.C. and Zhou W.J. 2008. Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. *Biol Plant* 52: 592–596.
- Gonde .H, Gonde R, Carre .G, et Jussiaux P. 1968. Cours d'agriculture moderne, édition N°379 France pp278 et 279-980.
- Gould WA. 1991. Tomato production processing and technology, 3d CTI Publication, inc, Bltimort. P22-24.
- Greenway, H. et Munns, R. 1980. Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*. Vol. 3, pp. 149-190.
- Greenway. H et Munns, R. 1980. Mechanism of salt tolerance in non-halophytes *Annu.rev ;Plant physiol* 31 :149-190pp
- Gruben, G.J.H. 2004. Ressources végétales de l'Afrique tropicale 2, légumes, 425p.
- Guignard, L. 2000. Biochimie végétale. 274p.
- Halitim A. 1988. Sols des régions arides d'Algérie. Thèse de Doctorat d'État, Office des publications universitaires d'Algérie (OPu).
- Hamza M. 1982. Adaptation physiologique des plantes cultivées à la salinité, *Bulletin soc ; Ecophysiologie végétale* 169-184 pp.
- Hanana Mohsen, Lamia Hamrouni, Olivier Cagnac et Eduardo Blumwald Reçu le 15 septembre 2009. Acceptée le 10 janvier 2011. Publié à l'adresse [www.nrcresearchpress.com/er](http://www.nrcresearchpress.com/er), le 5 mai 2011.pp :121-123.
- Hans Lambers, F Stuart. 2008. Chapin III, Thijs L Pons *Springer Science & Business Media*, *Plant Physiological Ecology*. 2 Ed. Springer.
- Heller, R., Esnault, R., Lance, C. 1996. *Physiologie végétale*
- Henriet C, De Jaeger N, Dorel M, Opfergelt S, Delvaux B. 2008b. The reserve of weatherable primary silicates impacts the accumulation of biogenic silicon in volcanic ash soils. *Biogeochemistry* 90:209-223.

- Henriet C, Draye X, Dorel M, Bodarwe L, Delvaux B. 2008a. Leaf silicon content in banana (*Musa spp.*) reveals the weathering stage of volcanic ash soils in Guadeloupe. *Plant and Soil* 313:71-82.
- Hernández, J.A., Ferrer, M.A., Jiménez, A., Barceló, A.R., and Sevilla, F. 2001. Antioxidant systems and O<sub>2</sub>-/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> production in the apoplast of pea leaves. Its relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins. *Plant Physiol.* 127(3) : 817–831. doi:10.1104/pp.010188. PMID:11706165.
- Hinsinger P., Bolland M.D.A., Gilkes R.J. 1996. Silicate rock powder: effect on selected chemical properties of a range of soils from Western Australia and on plant growth as assessed in a glasshouse experiment. *Fertil. Res.* 45: 69-79.
- Hodson MJ, White PJ, Maed A et Broadley MR 2005. Phylogenetic variation in the Silicon composition of plants. *Annales of Botany* 96, 1027-1046.
- Hopkins WG. 2003. *Physiologie Végétale*. Traduction de la 2ème édition américaine par Serge .R. Ed. De Boeck, p. 66-81.
- IAV : Institut Agronomique et Vétérinaire Hassen II (IAV). 1999. Fiche technique : Tomates sous serre. Plan National de Transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA) N°57.04 p.
- Imlay, J.A., and Linn, S. 1986. DNA damage and oxygen radical toxicity. *Science*, 240(4857) : 1302–1309. doi:10.1126/science.3287616. PMID:3287616.
- ITCMI , Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles. 1995. Guide pratique : la culture de la tomate sous serre. 20 p.
- Jabnourne, M. 2008. Adaptation des plantes à l'environnement : Stress salin. Présentation Power Point.
- Jean P; Catrine T et Gues L. 1998. *Biologie des plantes cultivées*. Ed. L'Arpers, Paris, 150p.
- Jones JR, Qualset CO. 1984. Breeding crops for environmental stress tolerance in applications of genetic engineering to crop improvement. Eds. Collins G B. and Petolino J G. *Martinus Nijhoff, Junks publishers* pp. 305-340.
- Jones LHP, Handreck KA. 1967. *Silica in soils, plants, and animals*.

- Katz O. 2014. Beyond grasses : the potential benefits of studying silicon accumulation in non-grass species. *Frontiers in Plant Science* Vol 5, Article 376, 1-3.
- Kaya, C., Ashraf, M. and Sönmez, O. 2015. Promotive effect of exogenously applied thiourea on key physiological parameters and oxidative defense mechanism in salt-stressed *Zea mays* L. plants. *Turk J Bot.* 39: 786-795.
- Kinet B. 1985. Contrôle du développement de l'inflorescence de la tomate par les facteurs de l'environnement et les régulateurs de croissance. *Rev, Hort*, n°200. P30-36.
- Klipstein-Grobush, K., Launer, L.J., Geleijnse, J.M., Boeing, H., Hofmann, A., Witte-man, J.C. 2000. Serum carotenoids and atherosclerosis: the Rotterdam Study. *Atherosclerosis* 148, 49-56.
- Lasram M. 1995. Salinity problems in the Mediterranean's area, Ed academie de Paris N°2, séances specialisées du 22 mar 1995.
- Laumonier R. 1979. Culture légumière et maraîchère, J.B Ballière Eds. Paris, Tome II : p276. Tome III, édition J.B Bablière, paris, p112, 279
- Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P., Casse Delbart F. 1995 *Biochimie et Physiologie végétales*, Cnrs-Ura 573, Université Montpellier II, Inra, EnsaM, Place Viala, 34060 Montpellier cedex 1, France.
- Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P., Casse-Delbart F. 1995. Les plantes face au stress salin. *Cah. Agric.* 4, p. 263-273.
- Levigneron, A., Lopez, F., Vansuyt, G., Berthomieu, P., Fourcroy, P., and Casse-Delbart, F 1995 Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures.* 4(4): p. 263-273.
- Levitt J. 1980. Responses of plants to environmental stresses : water, radiation, salt and other stresses. Academic Press, New York. pp 365-488.
- 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
- Luttge, U., Kluge, M., & Bauer, G. 2002. *Botanique*. 3ème édition, Tec et Doc- Lavoisier, Paris: 439-450 p.

- Ma J.F. and Takahashi E. 2002. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan, Elsevier, Amsterdam. pp 281
- Ma J.F., and Takahashi E. 2002. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan, Elsevier, Amsterdam. pp 281.
- 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 Yamaji N. 2008. Functions and transport of silicon in
- Ma JF, Mitani N, Nagao S, Konishi S, Tamai K, Iwashita T and Yano N. 2004. Characterization of the silicon uptake system and molecular mapping of the silicon transport gene in rice. *Plant Physiology* 136: 3284-3289
- Ma JF, Tamai K, Yamaji N, Mitani N, Konishi S, Katsuhara M, Ishiguro M, Murata Y, Yano M. 2006. A silicon transporter in rice. *Nature* 440:688-691.
- Ma JF, Yamaji N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science* 11:392–397
- Maillard J. 2001 : Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone
- Manaa A , Ben Ahmed H, Valot B, Bouchet JP, Aschi-Smiti S, Causse M, Faurobert M. 2011 Salt and genotype impact on plant physiology and root proteome variations in tomato. *J. Exp. Bot.*, 17: 1 -17.
- Marie Nicole St-Cyr. Tomatosphère, taxonomie-de-la-tomate. aspx.
- Marion Michel. 2016. Réponse d'une plante pérenne aux stress abiotique et biotique, interaction entre sécheresse et oïdium de la vigne. *Sciences agricoles*. ffdumas-01405145ff
- Mcue, K.F., & Hanson, A.D. 1990. Drought and salt tolerance: towards Understanding and application TIBTECH. 8: 358-362 p.
- Mehdi Jabnoute. 2008 .Adaptation des plantes au stress salin : caractérisation de transporteurs de sodium et de potassium de la famille HKT chez le riz 'T H É S E pour obtenir le grade de docteur en physiologie végétale et biologie moléculaire. Memento de l'agronome 2003

- 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.
- Mermoud, A. 2006 Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.
- Morant-Manceau, A., Pradier, E., & Tremblin, G. 2004. Osmotic adjustment, gas exchanges and chlorophyll fluorescence of a hexaploid triticale and its parental species under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 161(1), 25-33.
- Munns R, Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59: 651-81.
- Naika S., De Jeud J.V.L., De Jeffau M., Hilmi M. et Vandam B. 2005. La culture de tomate, production, transformation et commercialisation. Ed. Wageningen, Pays Bas. 105p.
- Ndour, P. et Danthu, P. 2000. Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacias africain. *Projet National de Semences Forestières du Sénégal*. 11 p.
- nutrition and sugarcane production. A review. *J. Plant Nutr* 22: 1853-1903
- Parida A.K. et Das A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, pp. 324-349.
- plants. *Cell. Mlo. Life Sci* 65: 3049-3057
- Pntta. 1999. Bulletin mensuel d'information et de liaison du pntta .Fiche technique tomate sous serre
- Polese, J.M. 2007. La culture de la tomate. Ed. Arthémis.95p.
- Rahmoune, C., Seridi, R., Paul, R. et Drez, P. 2000. Influence on Zn concentration in solution Applied to leaves and Roots on the absorption and translocation of Cd by leave. *Agricultural Sciences*. Vol. 27, n°1, pp. 72-77.
- Rajjou L; Gallardo K; Debeaujon I; Vandekerckhove J; Job C et Job D. 2004. The effect of alpha-amanitin on the Arabidopsis seed proteome highlights the distinct roles of stored and neosynthesized mRNAs during germination. *Plant Physiol* 134, 1598-613.
- Raven JA. 2001. Silicon transport at the cell and tissue level. In Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH (eds.) *Silicon in agriculture*. The Netherlands: Elsevier, pp 41-55.



- Renaud V. 2006. Les tomates qui ont du goût, Eugen Ulmer, Paris. Rice-Evans C., Miller N., Paganga G. (1997). "Antioxidant properties of phenolic compounds." *Trends in Plant Science* 2(4): 152-159.
- Rey, Y., & Costes, C. 1965. La physiologie de la tomate, étude bibliographique. INRA. 111p.
- 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.
- Riso, P., Visioli, F., Erba, D., Testolin, G., Porrini, M. 2004. Lycopene and vitamin C, concentrations increase in plasma and lymphocytes after tomato intake. Effects on cellular antioxidant protection. *European Journal of Clinical Nutrition* 58, 1350–1358.
- 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.
- Savant NK, Korndorfer GH, Datnoff LE, Snyder GH. 1999. Silicon
- Scherson RA., Vidal R, Sanderson MJ. 2008 . Phylogeny Biogeography and rates of diversification of new world *Astragalus* (leguminosae) with an emphasis on South American radiations *Am J Bot* 95 :1030 – 1039.
- Servant JM. 1978. La salinité dans le sol et les eaux : caractérisation et problèmes d'irrigation drainage : Bull. BRGM, Sect. 2, 123-142.
- Shabala S , Shabala L, Volkenburgh E, Newman I. 2005. Effect of divalent cations on ion fluxes and leaf photochemistry in salinized barley leaves. *J. Exp. Bot.*, 56(415): 1369-1378.
- Shankara, N., Joep, V., Lidt, De Jeude., Marja, De Goffau., Martin, Hilmi., Barbara, Van Dam. 2005. La culture de la tomate production, transformation et commercialisation; 6 ; 9 ; 18 ; 19 ; 20p.
- Shilpi, M., & Narendra. 2005. Cold, Salinity and Drought Stresses An Overview," *Archives of Biochemistry and Biophysics*, Vol. 444, No. 2., pp. 139-158 p.
- Snoussi, S.A. et Halitim A. 1998. Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Etude et gestion des sols, pp. 289- 298.

- Soltner D. 2007-Les bases de la production végétale tome III, la plante. Ed. Collection sciences et technique agricole Paris, 304p.
- Subramanyam S., David F., Clemens S.J.C., Webb M.A., Sardesai N., and Williams C.E., 2008. Functional characterization of HFR1, a high- Mannose Nglycan- specific Wheat Lectin induced by Hessian fly Larvac. *Plant physiol.* 147.
- Tan, C.S., Zhang, T.Q., Reynolds, W.D., Warner, J., et Drury, C.F. 2004. Farm-scale processing tomato production using surface and subsurface drip irrigation and fertigation. Ontario Processing Vegetable Growers 61st Annual Report. OPVG, London Ontario, the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 61:677-682
- Willcox, J.K., Catignani, G.L., Lazarus, S. 2003. Tomatoes and cardiovascular health. *Critical Review in Food Science and Nutrition* 43, 1–18.
- Yamagushi M . 1983 .World vegetables, principles production and nutritive values, Ellis horwood limited , westport. P156.
- Zhang, X., Wang, K., Zhang, Y., Wang, Q., and Cui, Z. 2013. Physiological and Biochemical Responses of *Silybum marianum* to Salt Stress at Germinating and Seedling Stages. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica.* 10: p. 2050-2056.
- Zhu J.K., 2001. Plant salt tolerance. *Trends in Plant Sci.* 6: 66-71.
- Zhu J.K., 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in plant biology*, 6: 441-445.

## Résumé

Le principe de cette étude consiste à l'évaluation de la tolérance à la salinité qui représente un facteur majeur limitant la productivité agricole. La tomate *Lycopersicon esculentum* var. *cesariforme*, une plante très sensible au stress salin. Cette étude a permis d'apprécier les réponses physiques et morphologiques de la germination des graines de tomate, à une action combinée du silicate de potassium et la salinité. Les résultats montrent que la présence de sel, conduit à une inhibition au stade germination, se traduisant par une diminution considérable du pourcentage de germination et du développement des plantules. Néanmoins, l'apport du silicate de potassium a un effet important et notable sur les paramètres étudiés. Le silicate améliore le taux de germination, le taux d'imbibition et les paramètres de croissance (longueur radiculaire, longueur tigelle) ce qui signifie son efficacité lors d'un stress salin

**Mots clés :** *Lycopersicon esculentum* var. *cesariforme*, germination, croissance, Salinité, silicate de potassium.

## Summary

The principle of this study consists in the evaluation of the tolerance to salinity which represents a major factor limiting agricultural productivity. The tomato *Lycopersicon esculentum* var. *cesariforme*, a plant very sensitive to salt stress. This study made it possible to assess the physical and morphological responses of tomato seed germination, to a combined action of potassium silicate and salinity. The results show that the presence of salt leads to inhibition at the germination stage, resulting in a considerable decrease in the percentage of germination and the development of the seedlings. However, the addition of potassium silicate has a significant and noticeable effect on the parameters studied. The silicate improves the germination rate, the imbibition rate and the growth parameters (root length, stem length) which means its effectiveness during salt stress

**Keywords:** *Lycopersicon esculentum* var. *cesariforme*, germination, growth, Salinity, potassium silicate.

## ملخص

يتمثل مبدأ هذه الدراسة في تقييم تحمل الملوحة والذي يمثل عاملاً رئيسياً يحد من الإنتاجية الزراعية. طماطم *Lycopersicon esculentum* var. *cesariforme*، نبات حساس جداً للإجهاد الملحي. أتاحت هذه الدراسة تقييم الاستجابات الفيزيائية والمورفولوجية لإنبات بذور الطماطم، للعمل المشترك لسيليكات البوتاسيوم والملوحة. أظهرت النتائج أن وجود الملح يؤدي إلى تثبيط في مرحلة الإنبات مما يؤدي إلى انخفاض كبير في نسبة الإنبات وتطور الشتلات. ومع ذلك، فإن إضافة سيليكات البوتاسيوم لها تأثير معنوي وملحوظ على المتغيرات المدروسة. تعمل السيليكات على تحسين معدل الإنبات ومعدل التشرب ومعاملات النمو (طول الجذر وطول الساق) مما يعني فعاليتها أثناء إجهاد الملح

الكلمات الرئيسية: *Lycopersicon esculentum* var. *cesariforme*، إنبات، نمو، ملوحة، سيليكات البوتاسيوم.